Jean-Pierre Petit

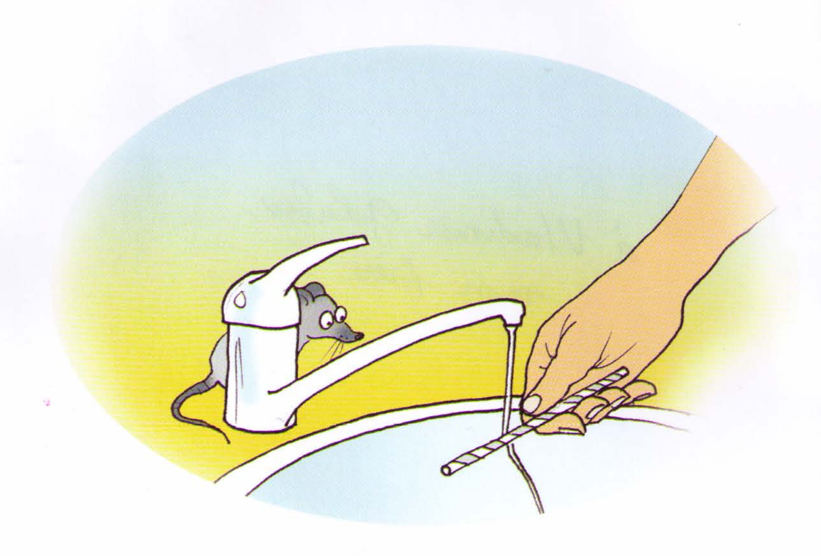
L'AMBRE ET LE VERRE

Histoire de l'électricité



Jean-Pierre Petit

L'AMBRE ET LE VERRE



Histoire de l'électricité

à Vladimir Golubev,
mon frère

PROLOGUE


alors, les gamins
ça va ?


Papy, c'est catastrophique !
Anselme et moi, on ne comprend rien à ce qu'est l'**ELECTRICITE**
Les ampères, les volts, les ohms tout cela se mélange dans nos pauvres têtes !

qu'est-ce que vous ne comprenez pas ?
mais **Tout** ! ce qu'est le **COURANT ELECTRIQUE** Ça n'est pas expliqué nulle part !

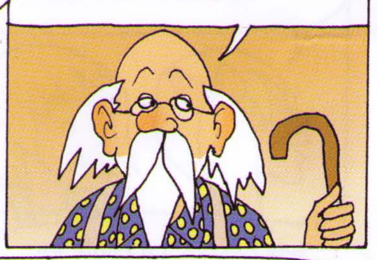
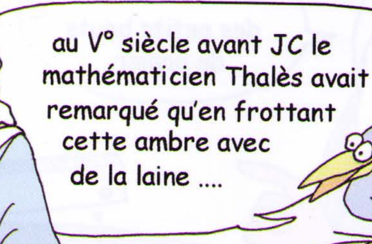
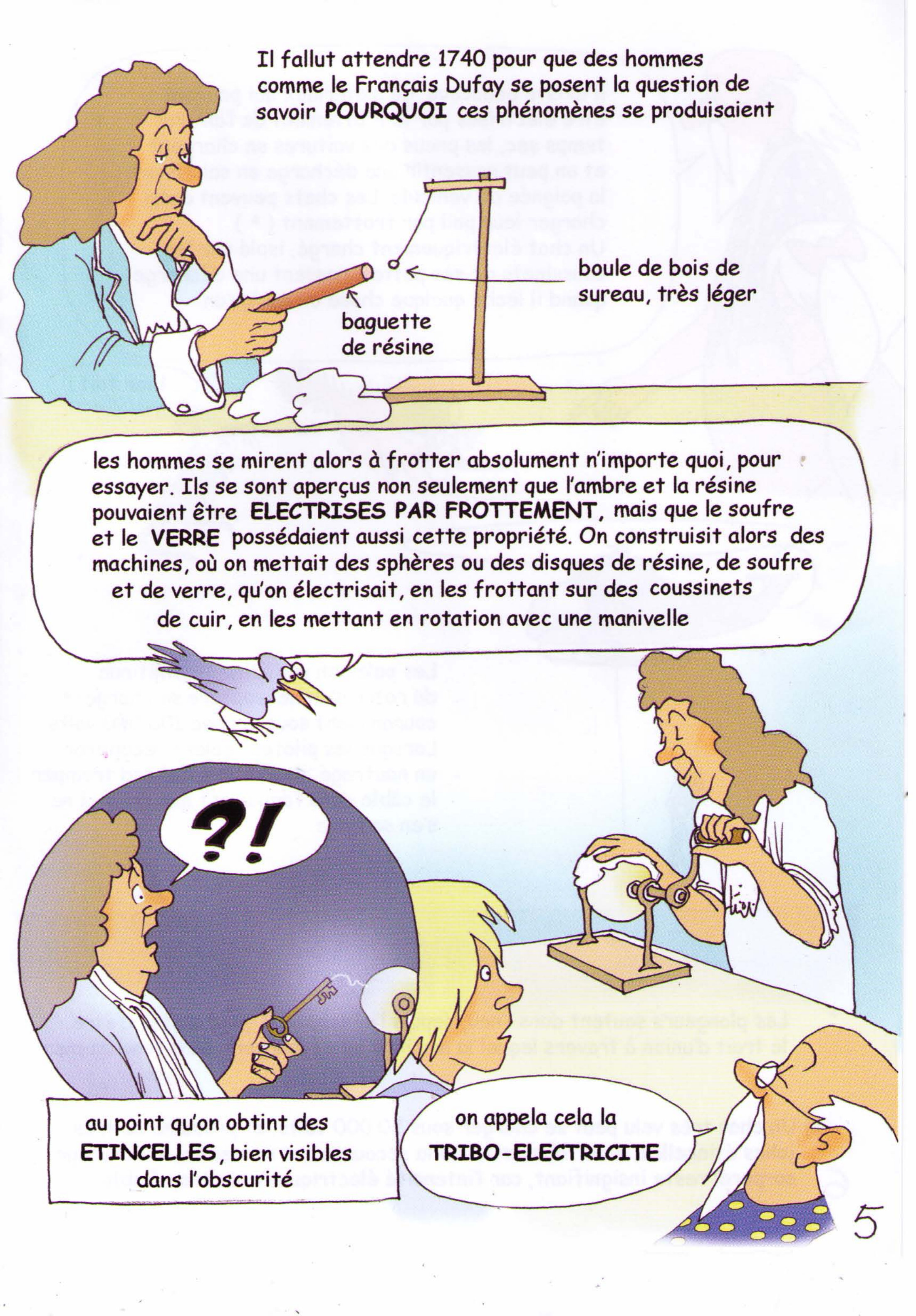

mes enfants, si vous voulez réellement comprendre ce qu'est l' **ELECTRICITE** il va vous falloir remonter loin dans le passé.

Figure-vous que le mot électricité vient du Grec ELECKTRON, qui veut dire ambre. C'est une résine fossile qu'on trouvait dans le nord de l'Europe, sous forme de petits blocs jaunes, translucides que les anciens utilisaient pour faire des bijoux.


au V° siècle avant JC le mathématicien Thalès avait remarqué qu'en frottant cette ambre avec de la laine ....

ÉLECTRICITE STATIQUE




Il fallut attendre 1740 pour que des hommes comme le Français Dufay se posent la question de savoir POURQUOI ces phénomènes se produisaient
boule de bois de sureau, très léger
baguette de résine
les hommes se mirent alors à frotter absolument n'importe quoi, pour essayer. Ils se sont aperçus non seulement que l'ambre et la résine pouvaient être ELECTRISES PAR FROTTEMENT, mais que le soufre et le VERRE possédaient aussi cette propriété. On construisit alors des machines, où on mettait des sphères ou des disques de résine, de soufre et de verre, qu'on électrisait, en les frottant sur des coussinets de cuir, en les mettant en rotation avec une manivelle
?!
au point qu'on obtint des ETINCELLES, bien visibles dans l'obscurité
on appela cela la TRIBO-ELECTRICITE



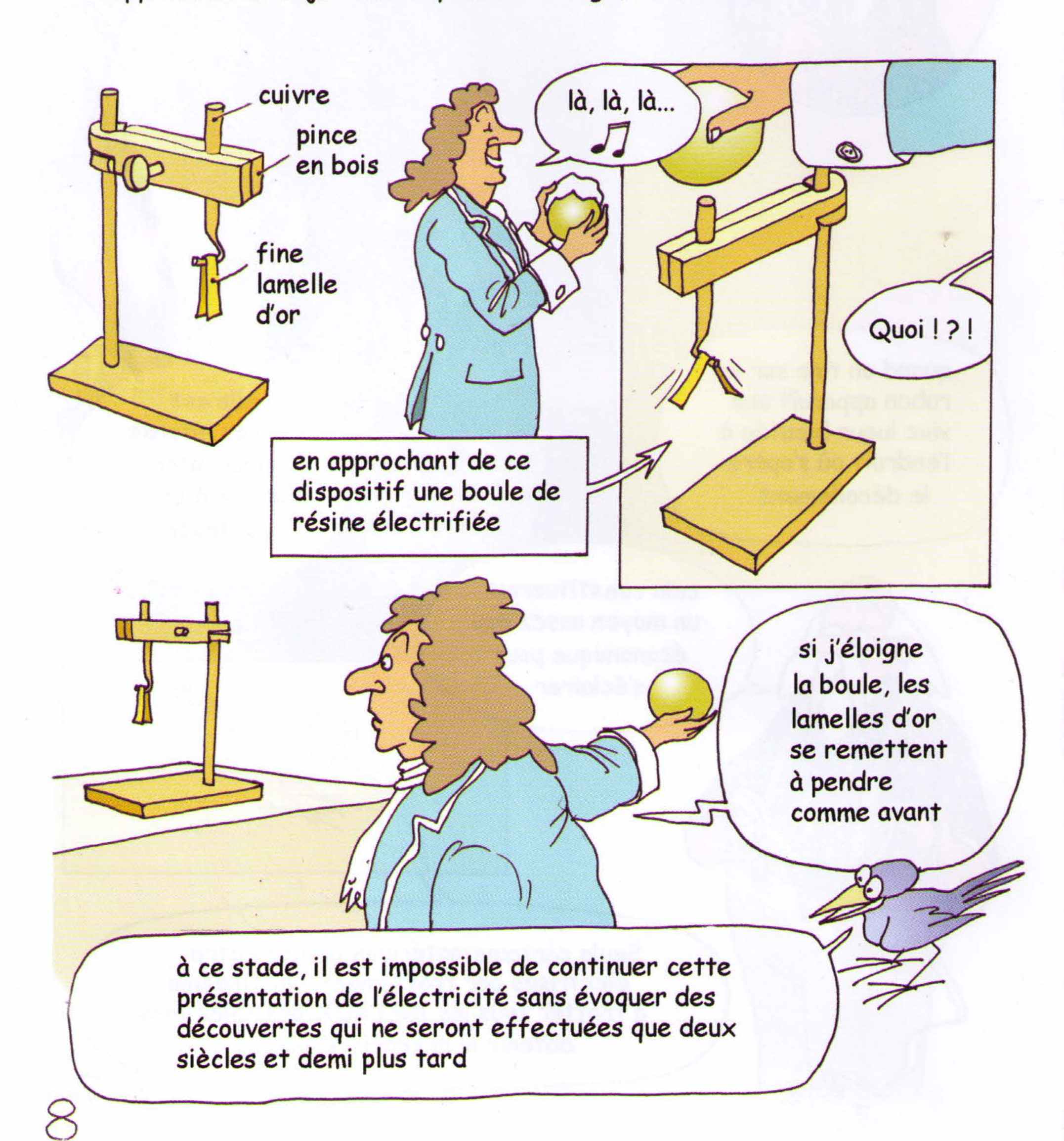
(*) Un chat très velu peut se charger sous 50.000 volts, et produire de très jolies étincelles, dans l'obscurité. Si la secousse est ressentie, le dommage corporel reste insignifiant, car l'intensité électrique reste trop faible.



on peut créer un phénomène électrique très spectaculaire, en s'enfermant dans un local obscur, avec un rouleau de chatterton. On opère alors par arrachement
par arrachement ?
quand on tire sur le ruban apparaît une vive lueur bleutée à l'endroit où s'opère le décollement
elle est assez intense pour qu'on arrive à lire un texte !
cela constituerait un moyen assez peu économique pour s'éclairer
Seuls certains matériaux peuvent être électrisés par frottement. On s'ingénia à frotter tous les **METAUX** possibles sans obtenir le moindre résultat

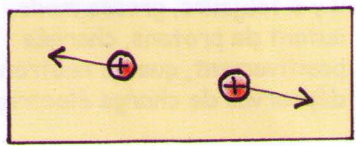
ÉLECTRISATION INDUITE

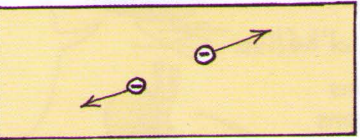
Mais on découvrit que ceux-ci ne restaient pas sans réagir, quand on approchait un objet électriquement chargé, fait de résine ou de verre.



Il fallut attendre 1905 pour que le Néo-Zélandais Ernest Rutherford montre que la matière était faite d'atomes. Puis le Danois Niels Bohr, en 1913, décrivit ceux-ci comme étant constitués par un **NOYAU**, chargé positivement, autour duquel gravitaient un ou plusieurs **ELECTRONS**, porteurs d'une charge électrique négative.

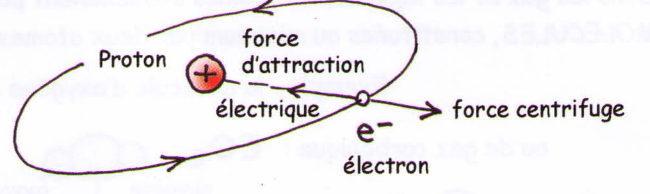
Les charges de même signe se repoussent





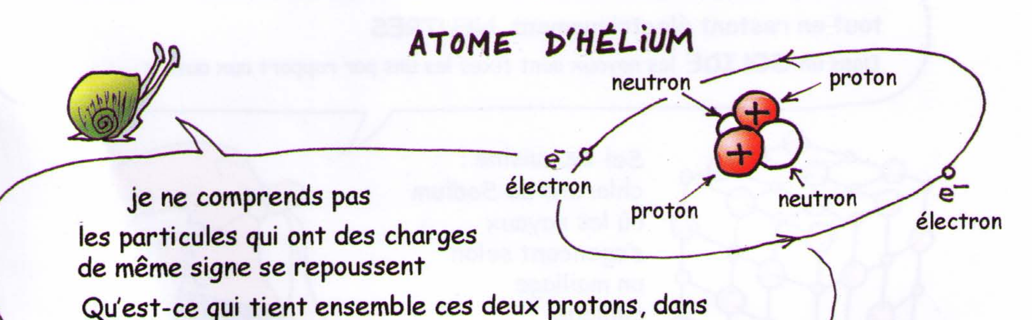
Les charges de signes contraires s'attirent, ce qui permet de construire un **ATOME D'HYDROGÈNE** où un électron orbite autour d'un noyau constitué par un unique **PROTON**, la force d'attraction électrique (entre charges de signes opposés) équilibrant la **FORCE CENTRIFUGE**.

ATOME D'HYDROGÈNE



dans les noyaux des autres atomes cohabitent plusieurs protons, et des particules électriquement neutres, appelées NEUTRONS

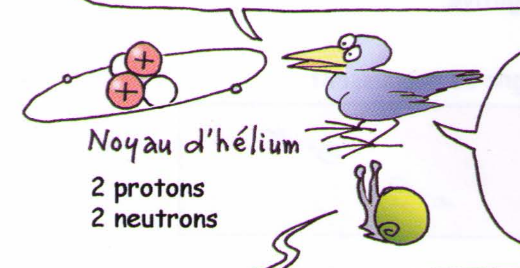
ATOME D'HÉLIUM



je ne comprends pas les particules qui ont des charges de même signe se repoussent

Qu'est-ce qui tient ensemble ces deux protons, dans ce noyau d'atome d'hélium ?

les particules composant les **NOYAUX** des atomes s'appellent des **NUCLEONS**. Leur cohésion est assurée par la **FORCE NUCLEAIRE**, attractive, qui devient plus importante que la force créée par les charges électriques, à courte distance



dans un noyau d'atome il y a toujours, grosso modo, autant de protons, chargés positivement, que de neutrons, dépourvus de charge électrique

mais il y a **TOUJOURS** autant de protons, de charges + que d'électrons, de charges −, ce qui fait que tous les atomes sont **ELECTRIQUEMENT NEUTRES**

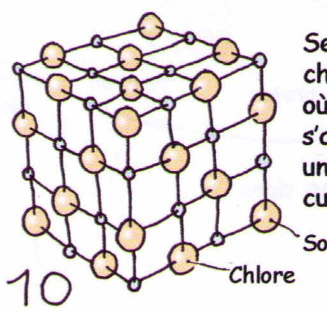
Dans les gaz et les liquides, les atomes s'assemblent pour former des MOLECULES, constituées au minimum par deux atomes

Exemple, la molécule d'oxygène : O_2
2 atomes d'oxygène

ou de gaz carbonique : CO_2
oxygène carbone oxygène

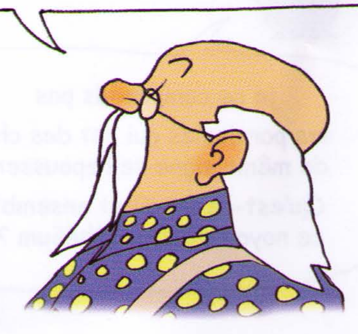
ou d'eau :
hydrogène oxygène hydrogène

Dans les **LIQUIDES** ou les **GAZ** les molécules évoluent librement, tout en restant électriquement **NEUTRES**
Dans un **SOLIDE** les noyaux sont fixes les uns par rapport aux autres

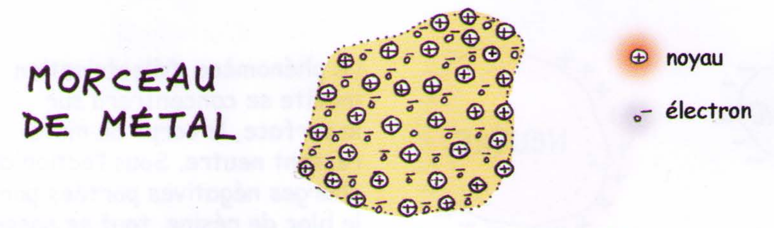




Sel de cuisine : chlorure de Sodium où les noyaux s'agencent selon un maillage cubique



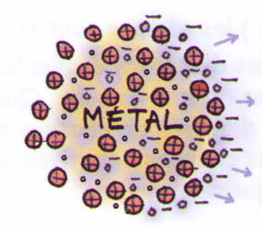
Dans un **METAL** (à l'état solide) les atomes sont fixes les uns par rapport aux autres . Une partie des électrons évolue librement, à la manière dont des abeilles circulent dans une ruche. Quand un morceau de métal est livré à lui-même, les densités de charges positives, contenues dans les noyaux, et les densité des charges négatives, celles des électrons sont égales. Le milieu est électriquement neutre.



Quand on frotte de l'ambre, ou de la résine, sa surface se tapisse d'électrons supplémentaires, qui s'attachent sur les atomes et constituent une distribution **FIXE** de charges négatives.

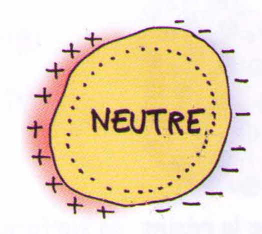
Quand on frotte un morceau de verre on arrache des électrons d'atomes situés à sa surface. Ces **LACUNES** sont alors l'équivalent d'une distribution **FIXE** de charges positives.





Si on approche un morceau de résine, chargé négativement, d'un morceau de métal, les électrons de celui-ci se trouveront repoussés



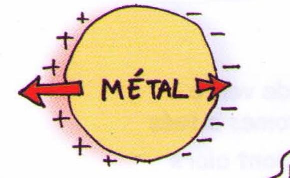


Le phénomène d'électrisation induite se concentrera sur la surface, le corps du métal restant neutre. Sous l'action des charges négatives portées par le bloc de résine, tout se passe comme si la face en regard du bloc de métal, se tapissait de charges positives, la face opposée se trouvant tapissée, elle, de charges négatives.



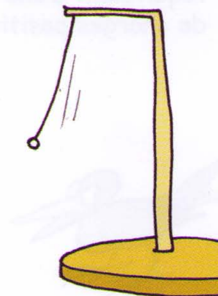
1) Les charges opposées s'attirent, les charges de même signe se repoussent
2) Ces forces sont proportionnelles à l'inverse du carré de la distance qui les sépare







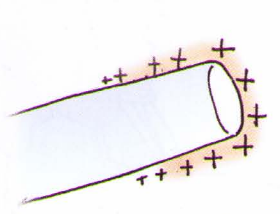
Les charges + étant plus proches de la résine que les charges − celle-ci va légèrement attirer le bloc de métal

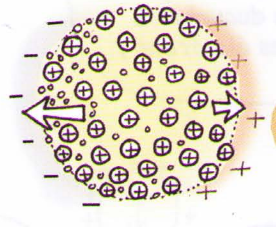


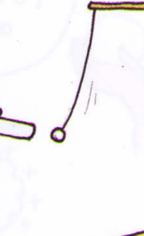




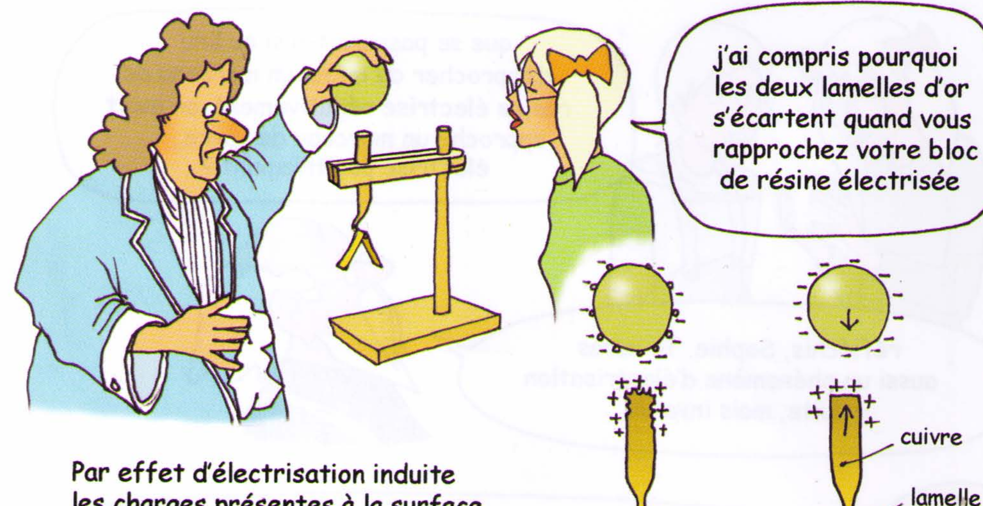








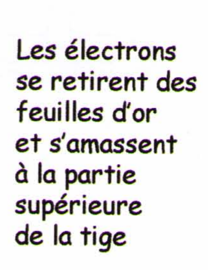
Cette fois, le bloc de verre va attirer les électrons du métal, qui vont se rassembler sur le face qui est en regard, et quitter la face opposée. Au résultat, on aura toujours une (légère) attraction

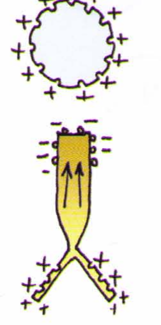


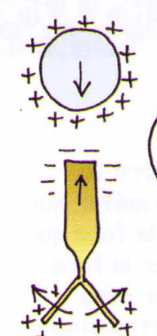
Par effet d'électrisation induite les charges présentes à la surface repoussent les électrons du métal vers les feuilles d'or. Et comme les charges de même signe se repoussent, celles-ci s'écartent

Les deux objets s'attirent légèrement mais les feuilles d'or se soulèvent, car leur poids est infime

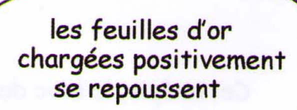


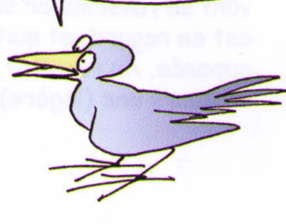


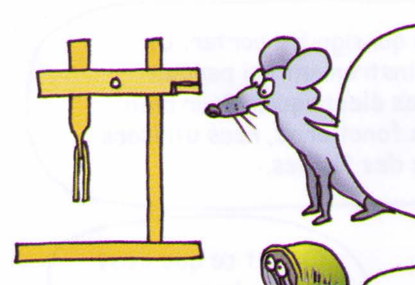




Les électrons se retirent des feuilles d'or et s'amassent à la partie supérieure de la tige



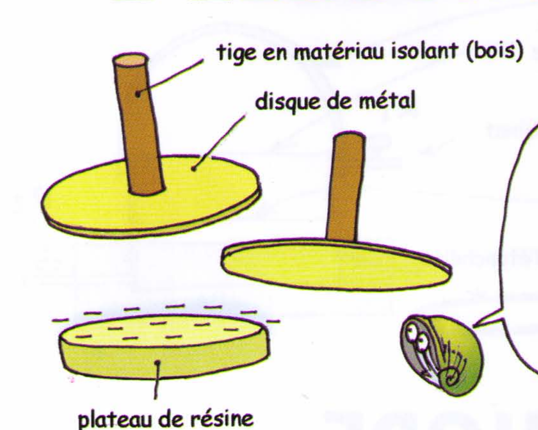




mais quand on éloigne les blocs électrisés, les électrons retournent à leurs places, le phénomène disparaît et le morceau de métal redevient ELECTRIQUEMENT NEUTRE

comment CHARGER un morceau de métal ?

L'ÉLECTROPHORE

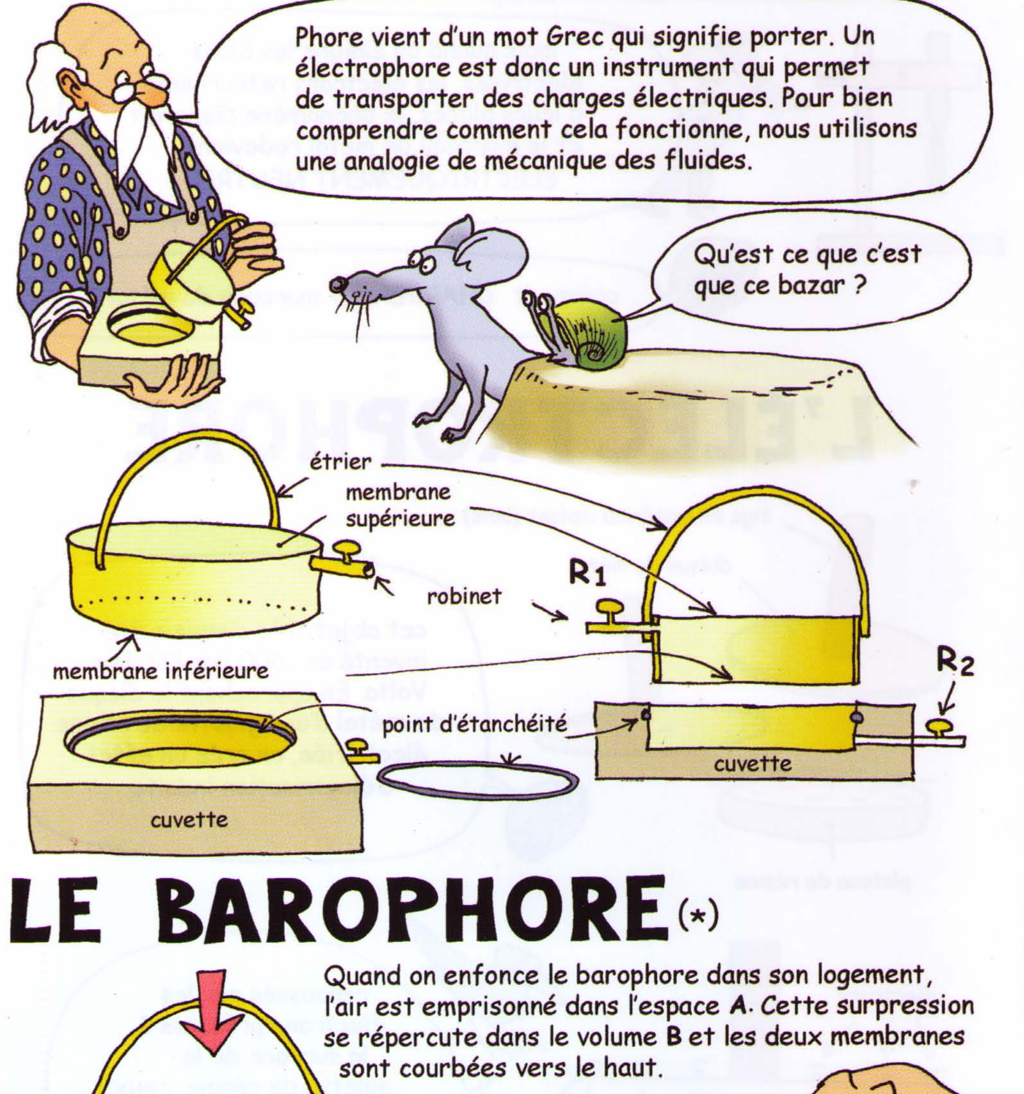


cet objet très simple a été inventé en 1800 par l'Italien Volta. En approchant le disque de métal d'une galette de résine électrifiée, on crée un effet d'électrisation induite

électrons

RÉSINE

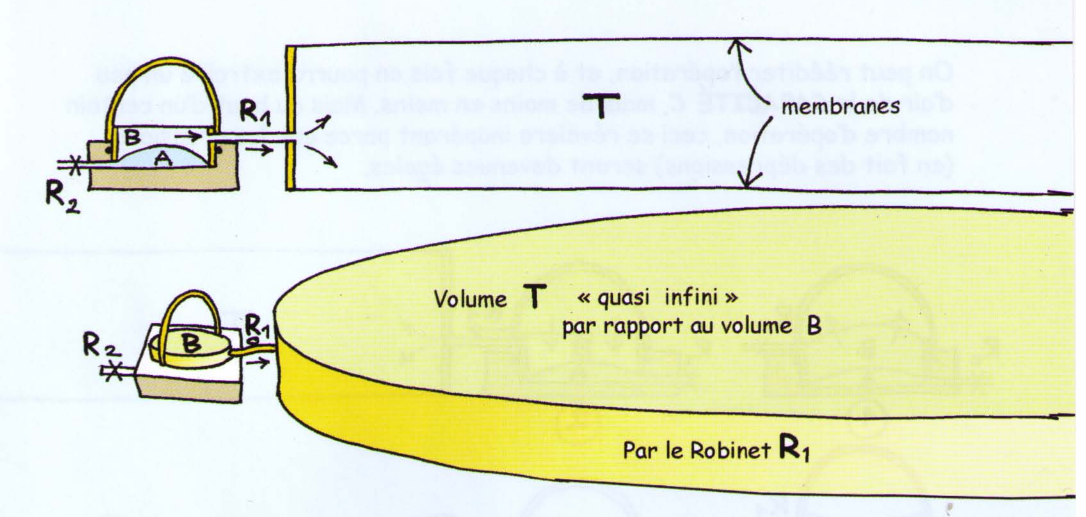
repoussés par les électrons présents à la surface de la galette de résine, ceux du métal quittent la partie inférieure du disque, pour migrer vers sa partie supérieure



LE BAROPHORE (*)

Quand on enfonce le barophore dans son logement, l'air est emprisonné dans l'espace **A**. Cette surpression se répercute dans le volume **B** et les deux membranes sont courbées vers le haut.

(*) Baros = la pression ; phore = porter
Etymologiquement : transport de la pression.

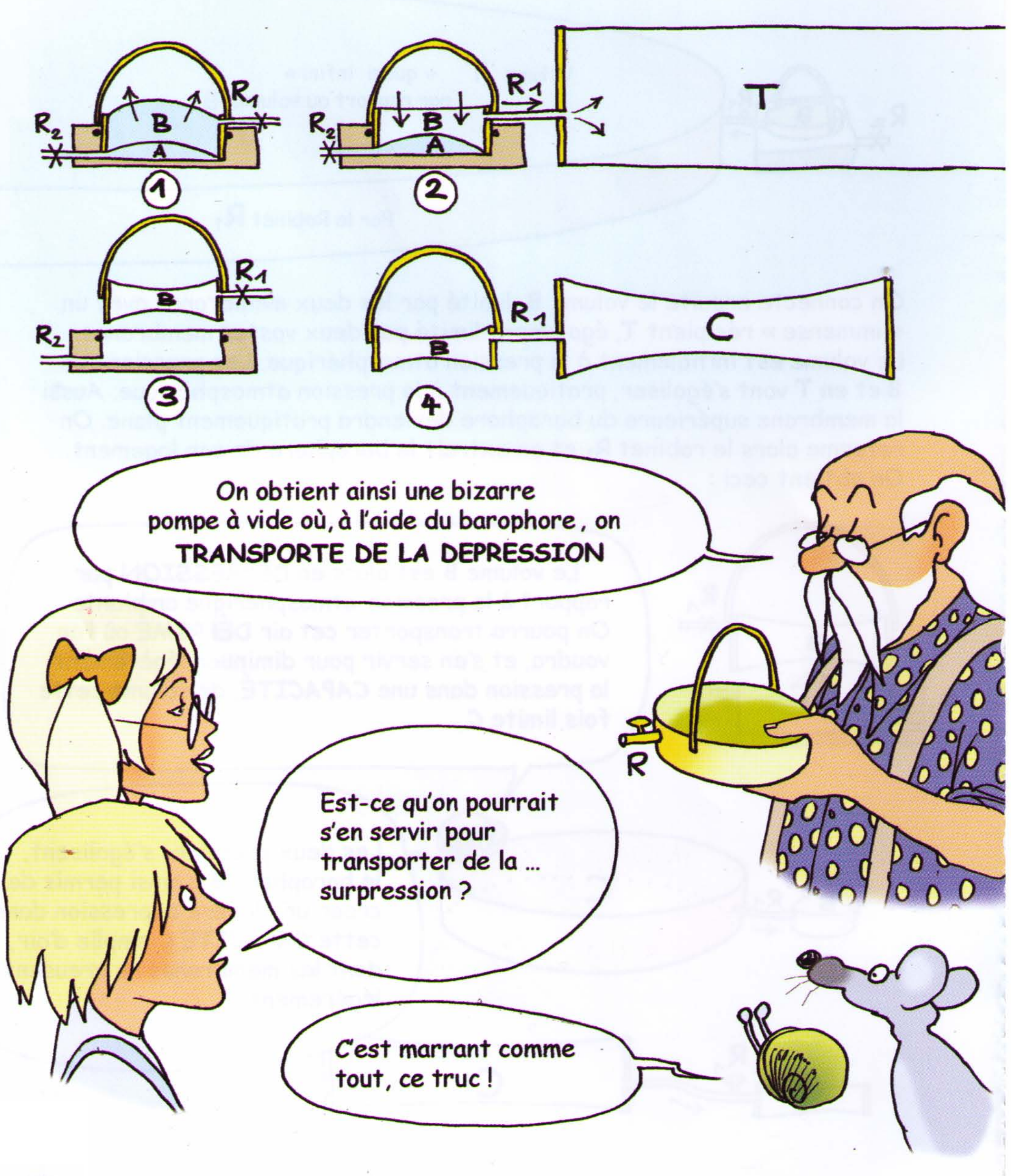


On connecte ensuite le volume **B**, limité par les deux membranes avec un « immense » récipient **T**, également limité par deux vastes membranes. Le volume est initialement à la pression atmosphérique. Les pressions en **B** et en **T** vont s'égaliser, pratiquement à la pression atmosphérique. Aussi la membrane supérieure du barophore deviendra pratiquement plane. On referme alors le robinet R_1 et on extrait le barophore de son logement. On obtient ceci :

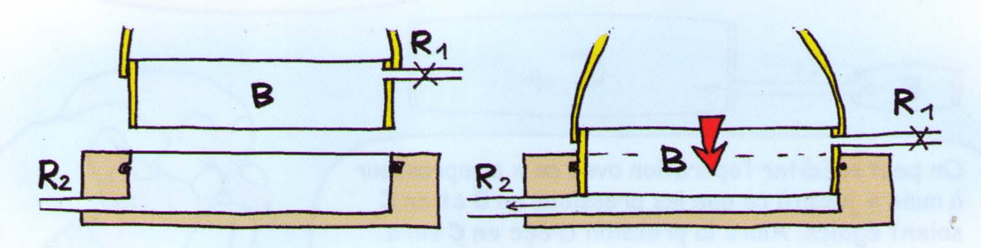
Le volume **B** est alors en **DÉPRESSION** par rapport à la pression atmosphérique ambiante. On pourra transporter cet air **DÉPRIMÉ** où l'on voudra, et s'en servir pour diminuer légèrement la pression dans une **CAPACITÉ**, de volume cette fois limite **C**.

Les deux pressions s'égalisent, le barophore **B** a ainsi permis de créer une légère dépression dans cette **CAPACITÉ C** emplie d'air, dont les membranes se creusent légèrement.

On peut rééditer l'opération, et à chaque fois on pourra extraire un peu d'air de la **CAPACITÉ C**, mais de moins en moins. Mais au bout d'un certain nombre d'opération, ceci se révélera inopérant parce que les pressions (en fait des dépressions) seront devenues égales.

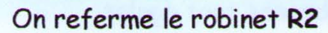


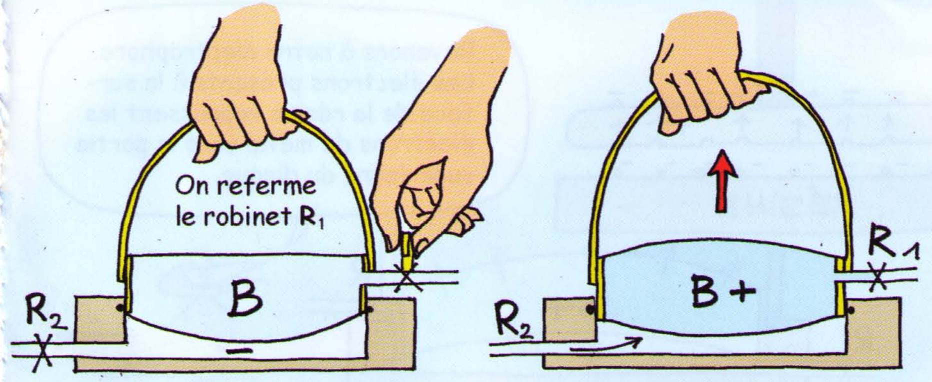
Quand le barophore est à la pression ambiante, nulle tension ne s'exerce sur les membranes. Quand on a achevé les différentes manœuvres, on a créé une **DÉPRESSION** dans l'enceinte **B**. Il subsiste des **TENSIONS** dans les membranes. On qualifiera alors cette **TENSION** de **NÉGATIVE**. Avec le barophore on va maintenant mettre l'enceinte **B**, comprise entre les deux membranes, en **SURPRESSION** et nous dirons que celles-ci sont en état de **TENSION POSITIVE**.



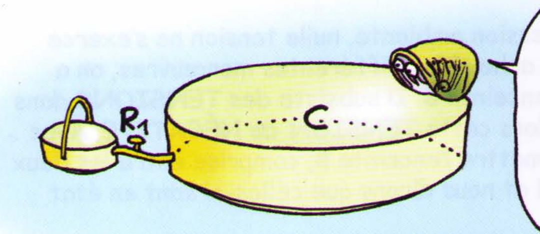
On ouvre le robinet R_2 et on enfonce le barophore dans son logement.

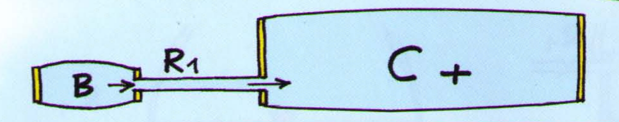
Puis on ouvre R_1 , mettant l'enceinte **B** en communication avec la grande enceinte.


On referme le robinet R2

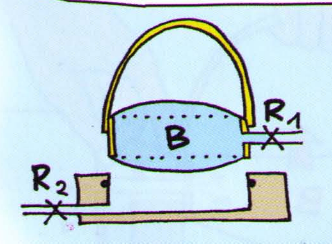


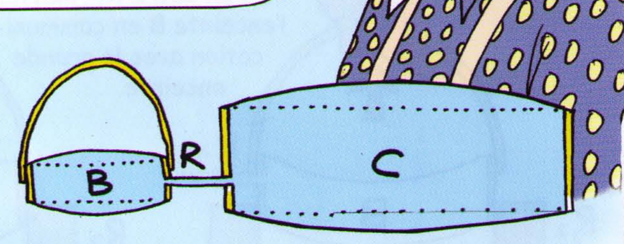
On ouvre le robinet R_2 et on extrait le barophore.



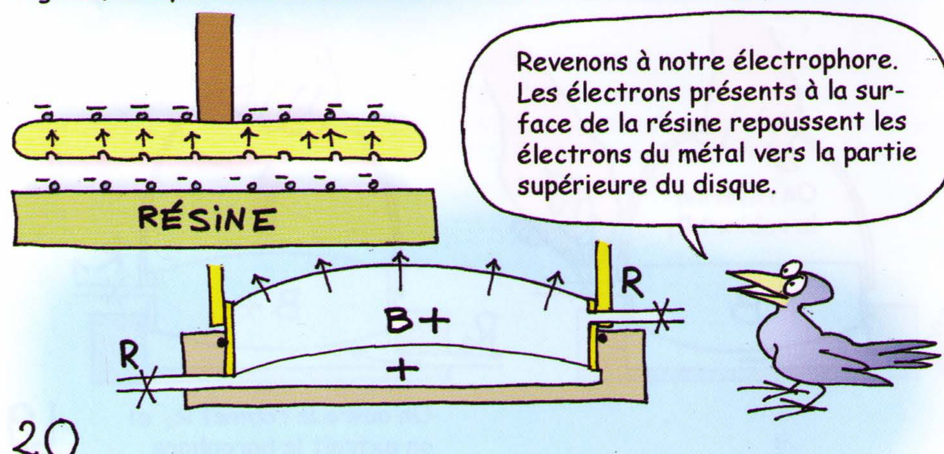


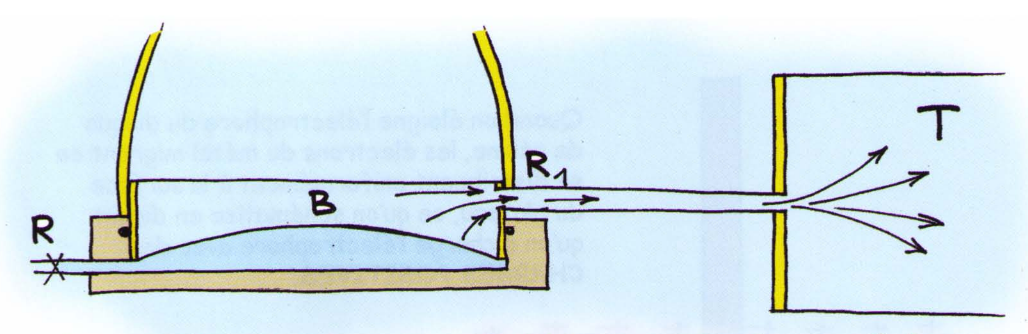
On peut rééditer l'opération avec ce « compresseur à main » jusqu'à ce que les pressions en **B** et en **C** soient égales. Alors la pression créée en **C** sera maximale. On dira que la **CAPACITÉ C** aura été portée à une **TENSION POSITIVE** Maximale.





La « pompe » devient efficace quand les pressions en **B** et **C** deviennent égales, lorsque les **TENSIONS** dans les membranes sont égales.





En ouvrant le robinet R_1, on permettait à la surpression régnant en **B** de s'évacuer dans l'immense capacité **T**, d'un volume considéré comme infini.

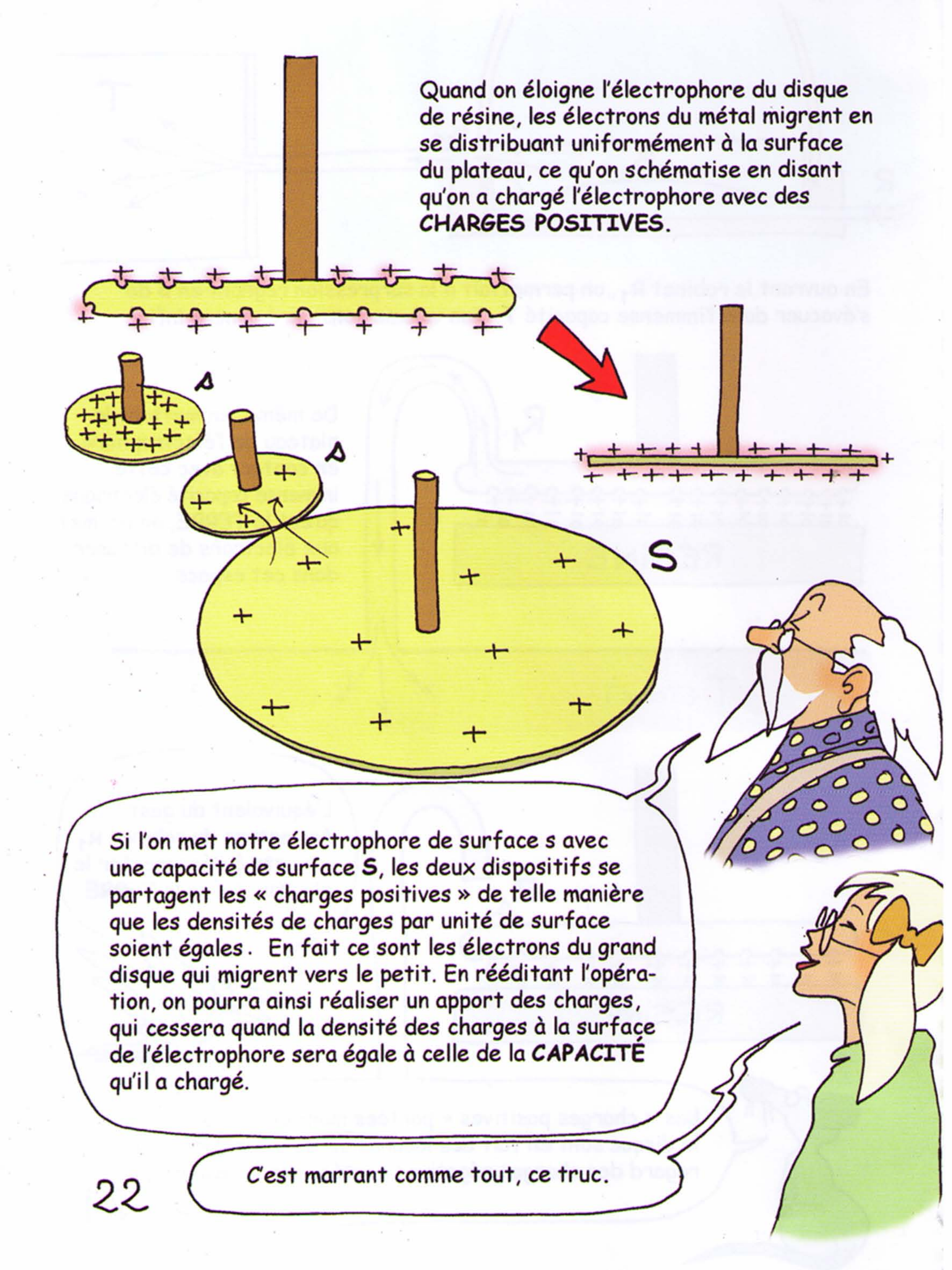
R1
RÉSINE
T (Terre)

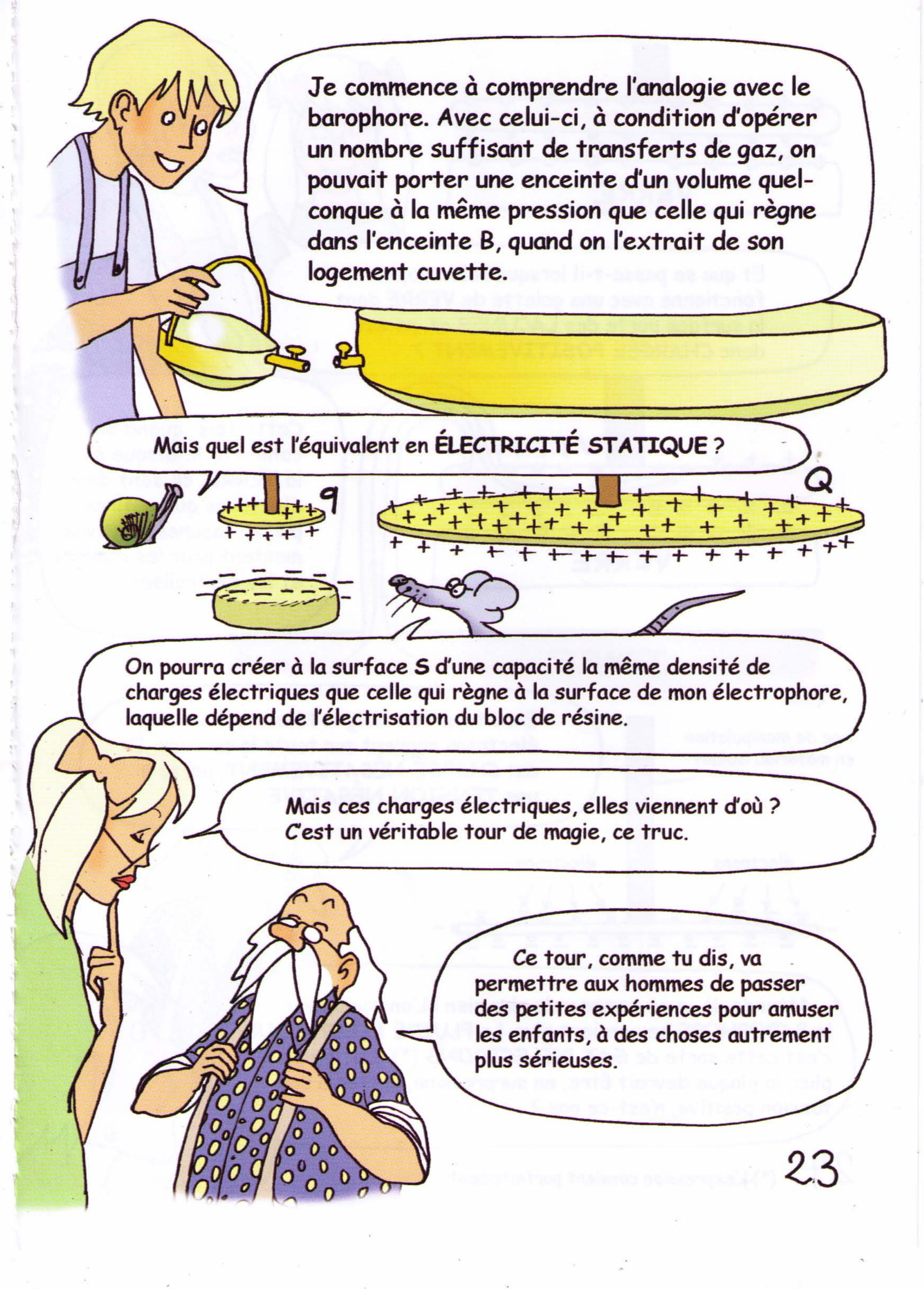
De même, en mettant le plateau de l'électrophore en contact avec cette immense capacité électrique qu'est la **TERRE**, on permet aux électrons de diffuser dans cet espace.

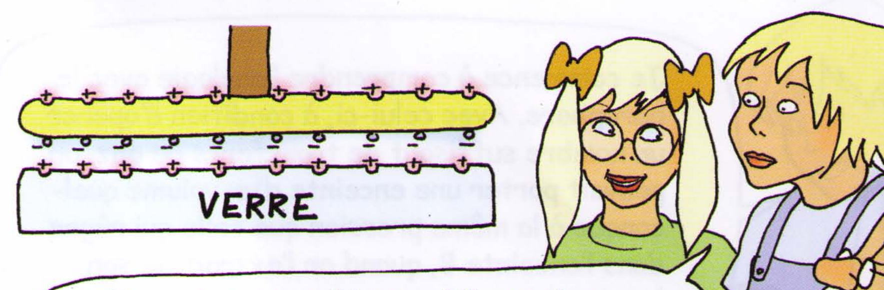
R1
RÉSINE

L'équivalent du geste de fermeture du robinet R_1 consiste à déconnecter le plateau d'avec la **TERRE**.

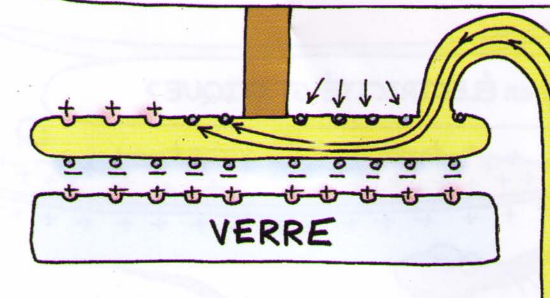
Les « charges positives » portées maintenant par le disque sont en fait des lacunes qui se situent en regard des charges négatives portées par la résine.


Quand on éloigne l'électrophore du disque de résine, les électrons du métal migrent en se distribuant uniformément à la surface du plateau, ce qu'on schématise en disant qu'on a chargé l'électrophore avec des **CHARGES POSITIVES**.
s
s
S
Si l'on met notre électrophore de surface s avec une capacité de surface **S**, les deux dispositifs se partagent les « charges positives » de telle manière que les densités de charges par unité de surface soient égales. En fait ce sont les électrons du grand disque qui migrent vers le petit. En rééditant l'opération, on pourra ainsi réaliser un apport des charges, qui cessera quand la densité des charges à la surface de l'électrophore sera égale à celle de la **CAPACITÉ** qu'il a chargé.
C'est marrant comme tout, ce truc.


Je commence à comprendre l'analogie avec le barophore. Avec celui-ci, à condition d'opérer un nombre suffisant de transferts de gaz, on pouvait porter une enceinte d'un volume quelconque à la même pression que celle qui règne dans l'enceinte B, quand on l'extrait de son logement cuvette.
Mais quel est l'équivalent en ÉLECTRICITÉ STATIQUE ?
q
Q
On pourra créer à la surface S d'une capacité la même densité de charges électriques que celle qui règne à la surface de mon électrophore, laquelle dépend de l'électrisation du bloc de résine.
Mais ces charges électriques, elles viennent d'où ? C'est un véritable tour de magie, ce truc.
Ce tour, comme tu dis, va permettre aux hommes de passer des petites expériences pour amuser les enfants, à des choses autrement plus sérieuses.



Et que se passe-t-il lorsque l'électrophore fonctionne avec une galette de **VERRE** dont la surface porte des **LACUNES** et qui est donc **CHARGÉE POSITIVEMENT** ?



Cette fois, quand on connecte le disque à la **TERRE**, ce sont des électrons qui, attirés par les lacunes positives, montent pour les combler et les neutraliser.

Ensuite, si l'on éloigne l'électrophore, les électrons migrent sur toute la surface. Il est **CHARGÉ NÉGATIVEMENT**, porté à une **TENSION NÉGATIVE**.

tige de manipulation en matériau isolant

électrons

électrons

Attends, là je ne comprends plus rien ! L'analogie avec le **BAROPHORE** ne convient plus. Le **FLUIDE ÉLECTRIQUE**, c'est cette sorte de **GAZ D'ÉLECTRONS** (*). Ici, il y en a plus, la plaque devrait être, en surpression, portée à une tension positive, n'est-ce pas ?

(*) L'expression convient parfaitement.

Remarque pertinente, mon cher Anselme. En effet, quand les hommes ont commencé à jouer avec l'électricité, ils ont tout de suite pensé qu'il s'agissait d'un **FLUIDE ÉLECTRIQUE**. Mais personne ne savait dans quel sens il s'écoulait. On a choisi un sens arbitraire et on avait une chance sur deux de se tromper.

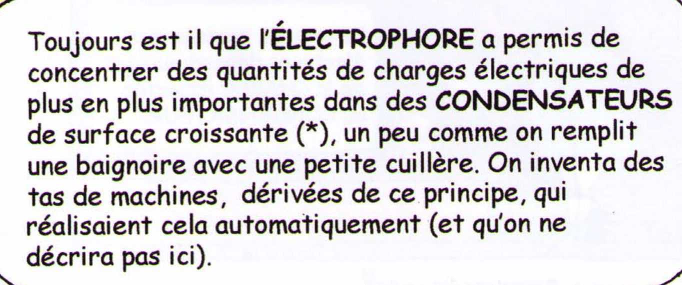
Et, pas de chance, on s'est foutu dedans !



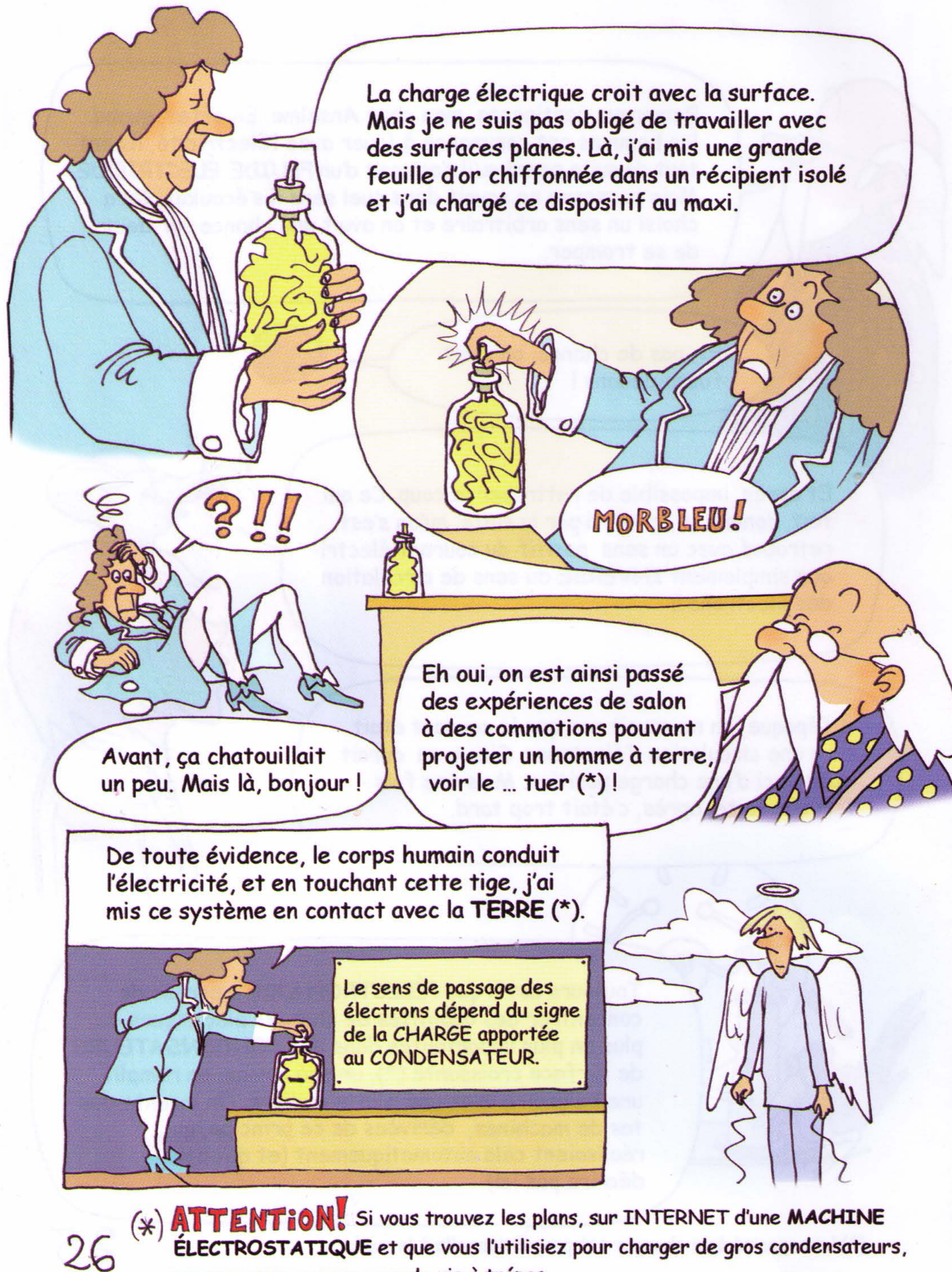
Et après, impossible de rattraper le coup. Ce qui fait, comme on le verra par la suite, qu'on s'est retrouvé avec un sens positif du courant électrique simplement **INVERSE** du sens de circulation des électrons !!



A l'époque, on ne savait pas que le courant était du à une circulation d'électrons. Sinon, on aurait doté ceci d'une charge positive. Mais une fois l'erreur faite, après, c'était trop tard.



(*) La capacité à se charger est proportionnelle à la surface.



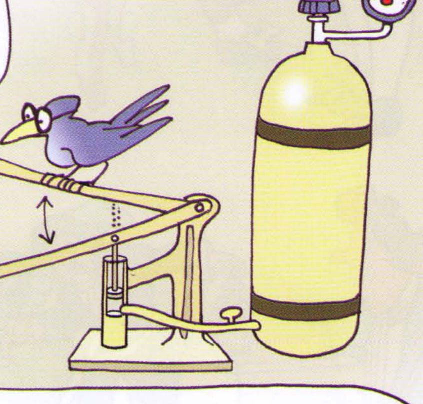
(*) **ATTENTION!** Si vous trouvez les plans, sur INTERNET d'une **MACHINE ÉLECTROSTATIQUE** et que vous l'utilisiez pour charger de gros condensateurs, vous pouvez vous envoyer de vie à trépas.

Pourquoi est-ce qu'avec un bloc de résine, ou de verre frotté, on peut passer d'un simple jouet pour enfant à un système capable de tuer un cheval ? J'avoue que je ne comprends pas !



Reviens au **BAROPHORE**. Avec celui-ci tu pouvais transporter un petit volume **B**, sous une pression **P**. Puis, progressivement, porter un volume ***C***, beaucoup plus grand, à cette même pression.

Imagine maintenant que tu disposes d'une pompe permettant d'obtenir un centimètre cube sous cent kilos de pression



Avec ce **VERIN** à air, au prix de milliers de coups, on pourrait créer dans cette bouteille d'acier la même pression

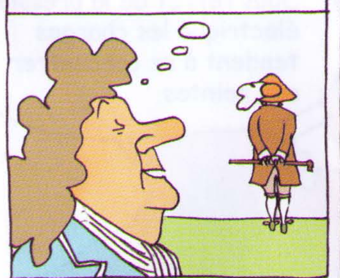
Ainsi en y mettant le temps, je pourrais donc créer l'équivalent d'une bombe (ce qui serait le cas si cette bouteille d'acier se brisait)

En électricité, l'équivalent de la pression est la **TENSION**, qui se mesure en volts

(*) La **PRESSION** est aussi une **DENSITE D'ENERGIE PAR UNITE DE VOLUME**



(*) en fait, l'expérience fut conduite par l'abbé Nollet en 1760



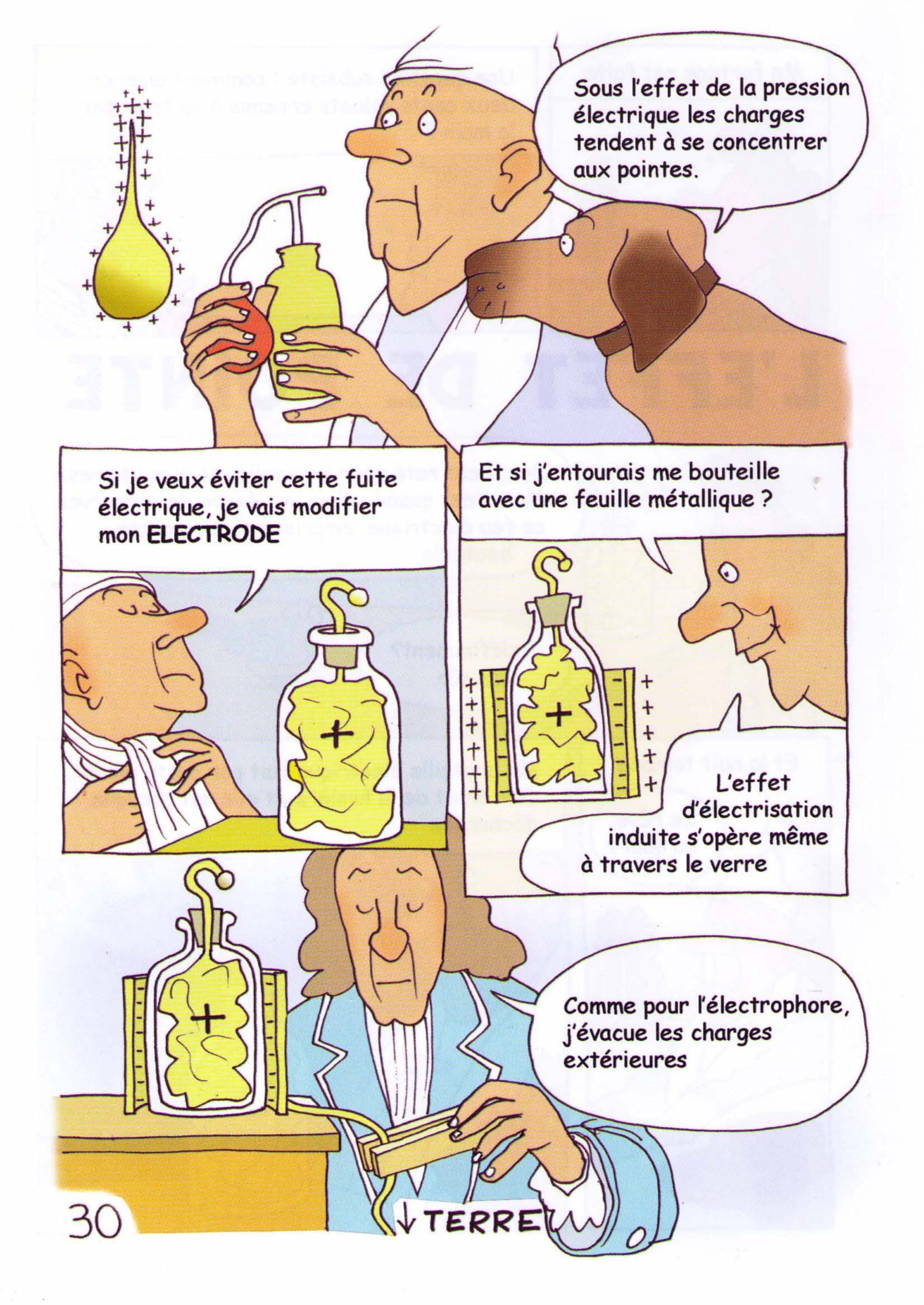


L'EFFET DE POINTE

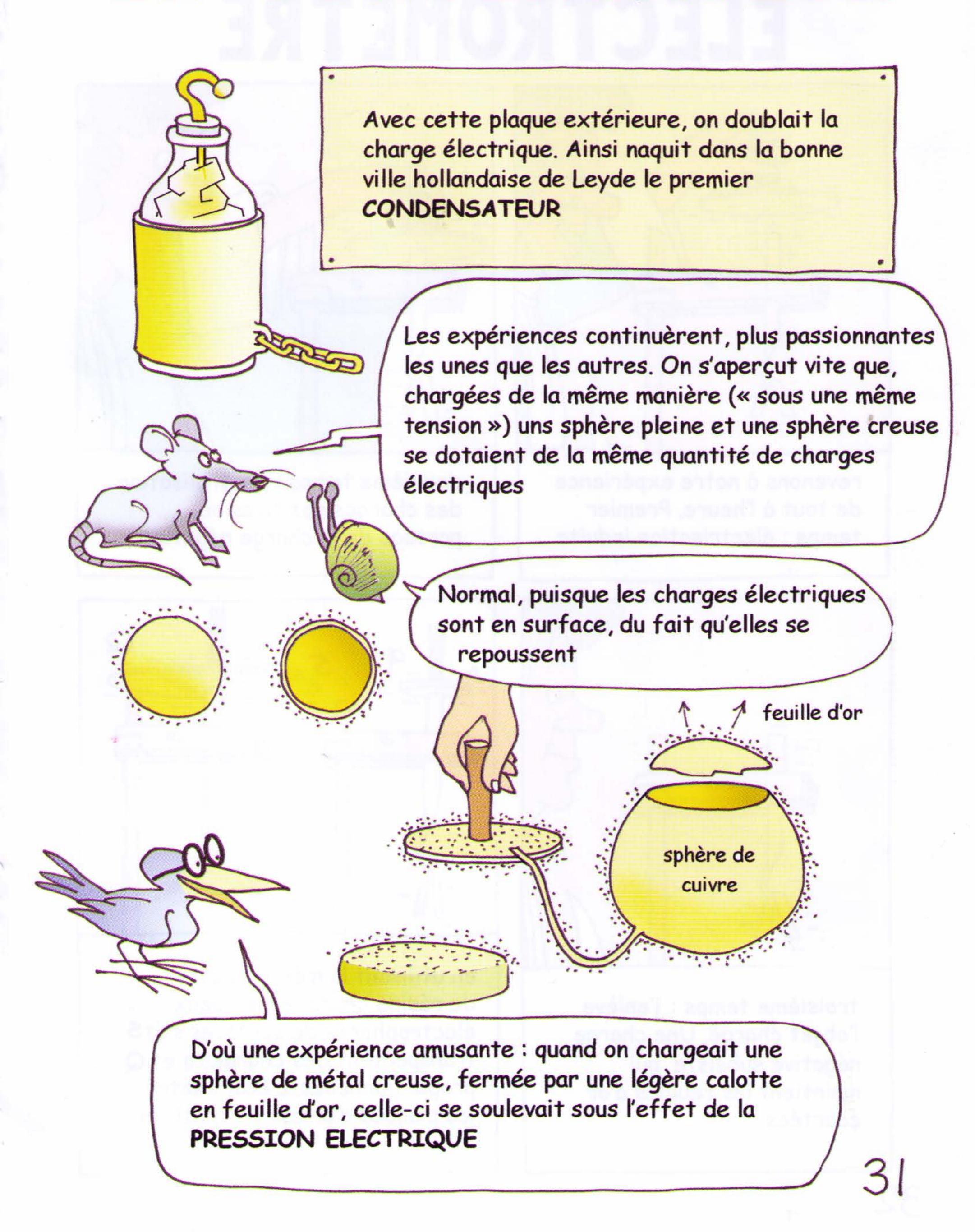




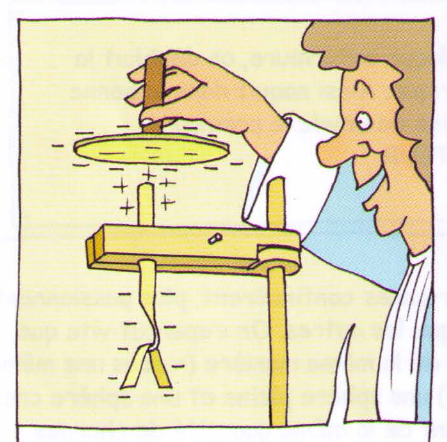



Sous l'effet de la pression électrique les charges tendent à se concentrer aux pointes.
Si je veux éviter cette fuite électrique, je vais modifier mon ELECTRODE
Et si j'entourais me bouteille avec une feuille métallique ?
L'effet d'électrisation induite s'opère même à travers le verre
Comme pour l'électrophore, j'évacue les charges extérieures
↓TERRE

LE CONDENSATEUR



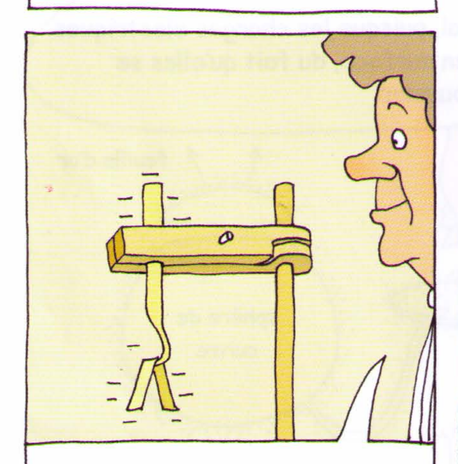
ÉLECTROMÈTRE



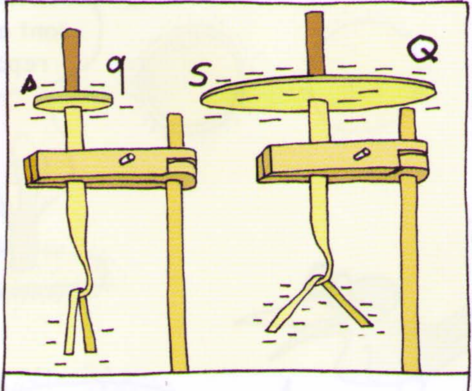
revenons à notre expérience de tout à l'heure. Premier temps : électrisation induite



deuxième temps : neutralisation des charges positives ou ...... partage de la charge négative



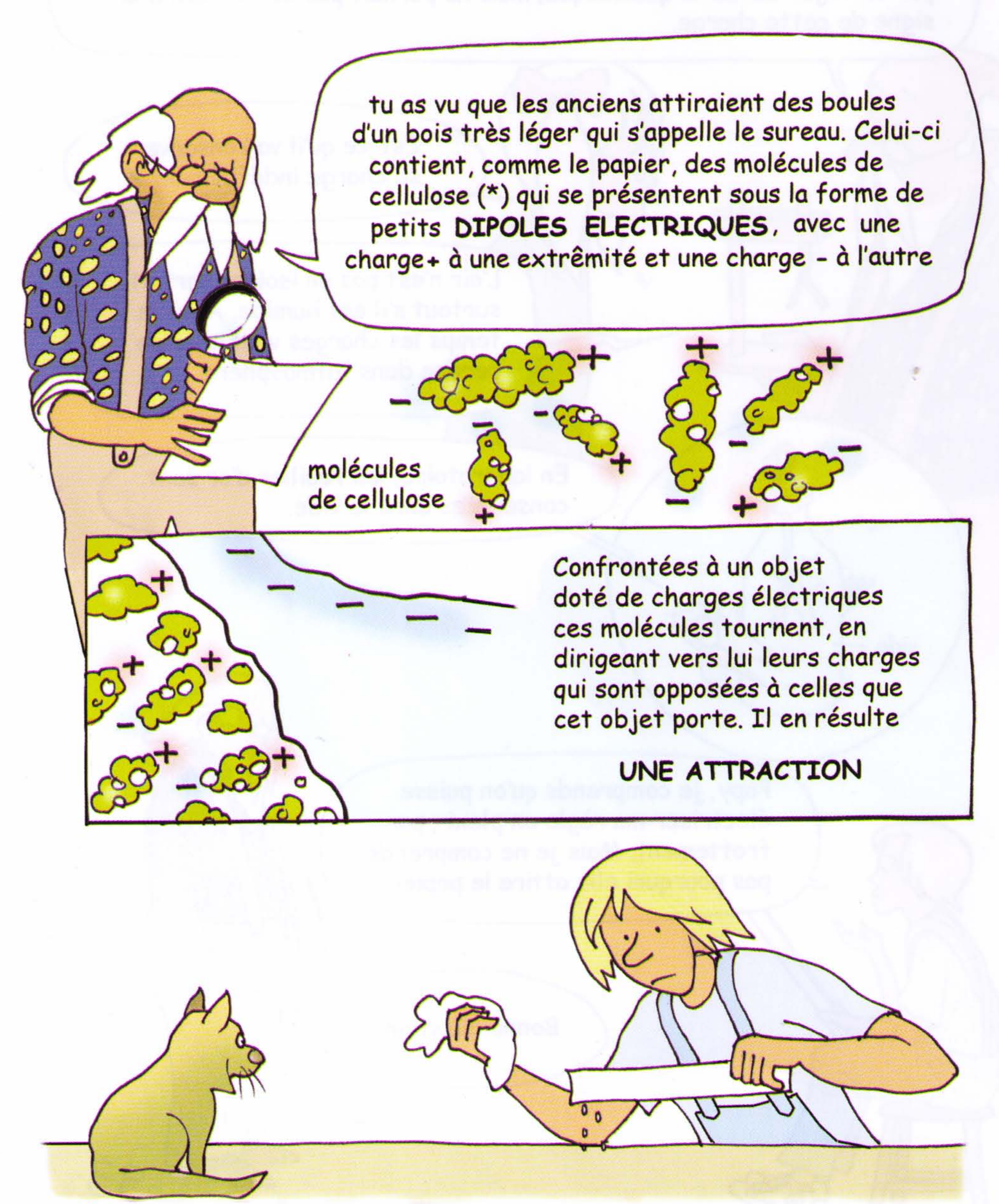
troisième temps : j'enlève l'objet chargé. Une charge négative subsiste, qui maintient les feuilles d'or écartées



en utilisant la même galette de résine chargée, ces deux électrophores de surfaces **s** et **S** transportent des charges **q** et **Q** proportionnelles. L'écart entre les plaques d'or est en conséquence

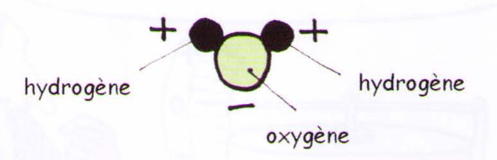

On appelle ce dispositif un électromètre à feuilles d'or. L'écartement des feuilles permet de se faire une idée de la charge électrique contenue par un objet de métal quelconque, mais ne permet pas de connaître le signe de cette charge.
Est-ce qu'il va conserver sa charge indéfiniment ?
L'air n'est pas un isolant parfait, surtout s'il est humide. Avec le temps les charges vont aller se perdre dans l'atmosphère
En laboratoire, les feuilles d'or sont conservées dans le vide.
vide
Papy, je comprends qu'on puisse électriser ma règle en plexi , par frottement. Mais je ne comprends pas pourquoi elle attire le papier
Bonne question.

LA POLARiSATiON

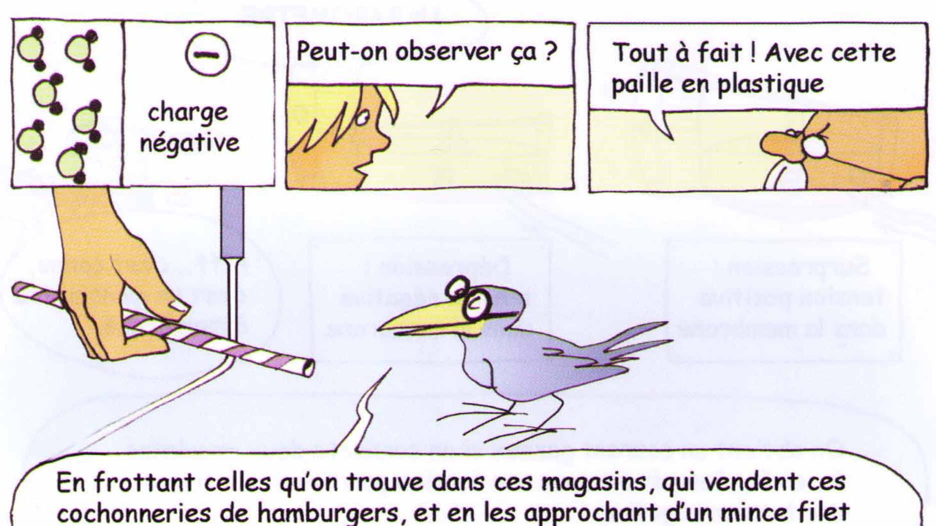


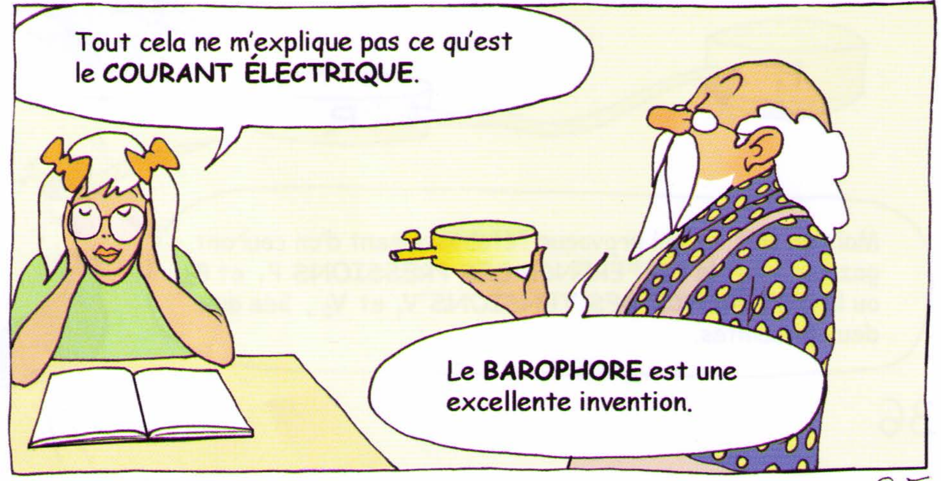
(*) Le papier est fabriqué à partir de fibres de bois

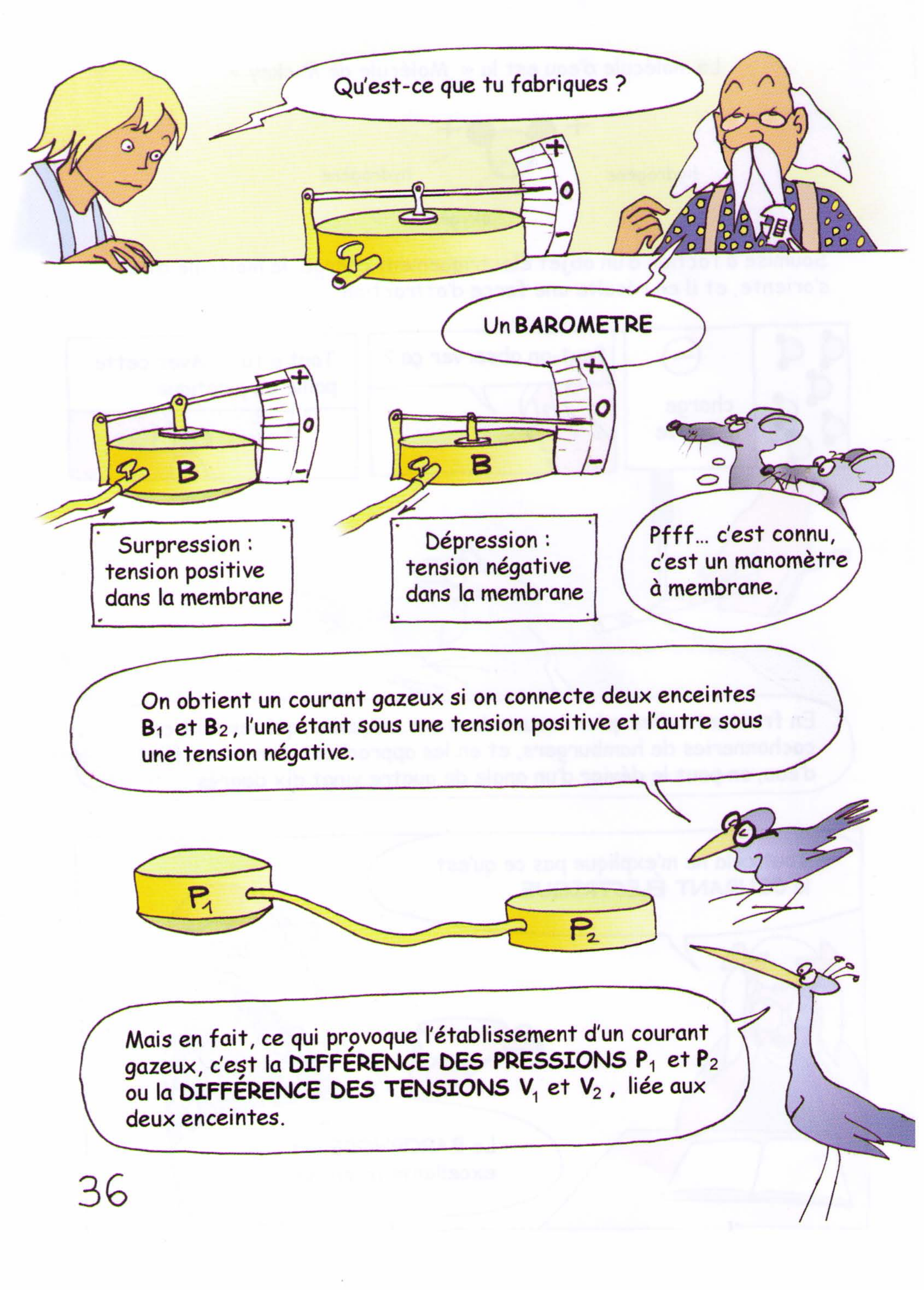
La molécule d'eau est la « Molécule de Mickey »



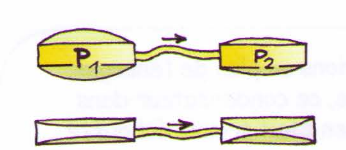
Soumise à l'action d'un objet électriquement chargé, la molécule d'eau s'oriente, et il en résulte une force d'attraction.

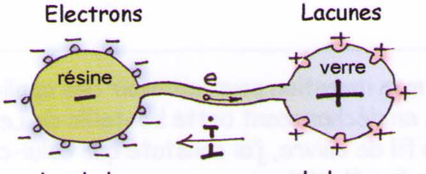


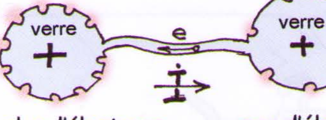




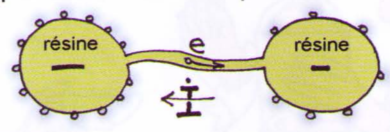
Qu'est-ce que tu fabriques ?
+
0
–
Un BAROMETRE
+
0
–
B
+
0
–
B
Surpression : tension positive dans la membrane
Dépression : tension négative dans la membrane
Pfff... c'est connu, c'est un manomètre à membrane.
On obtient un courant gazeux si on connecte deux enceintes B_1 et B_2, l'une étant sous une tension positive et l'autre sous une tension négative.
P_1
P_2
Mais en fait, ce qui provoque l'établissement d'un courant gazeux, c'est la DIFFÉRENCE DES PRESSIONS P_1 et P_2 ou la DIFFÉRENCE DES TENSIONS V_1 et V_2 , liée aux deux enceintes.







Plus toutes les situations intermédiaires.



Entre les deux enceintes, le courant gazeux s'établira de la haute pression vers la basse pression même si ces deux pressions sont inférieures à la pression ambiante.

On retrouvera toutes ces configurations entre des condensateurs chargés positivement (défaut d'électrons) ou négativement (excès d'électrons).

En résumé, le flux de particules chargées s'établit toujours depuis le milieu le plus riche en électrons vers le milieu le plus pauvre. Et comme on s'est foutus dedans il y a deux siècles, il ne reste plus qu'à orienter le sens du courant **EN SENS INVERSE** de cette circulation de ce **GAZ D'ÉLECTRONS LIBRES**.

C'est vraiment couillon, cette erreur. On avait une chance sur deux....

Et maintenant, si on voulait s'amuser à changer le sens du **COURANT ÉLECTRIQUE**, bonjour les dégâts. On a préféré renoncer.



Il y a peut-être des planètes où on a fait le bon choix.

C'est probable.



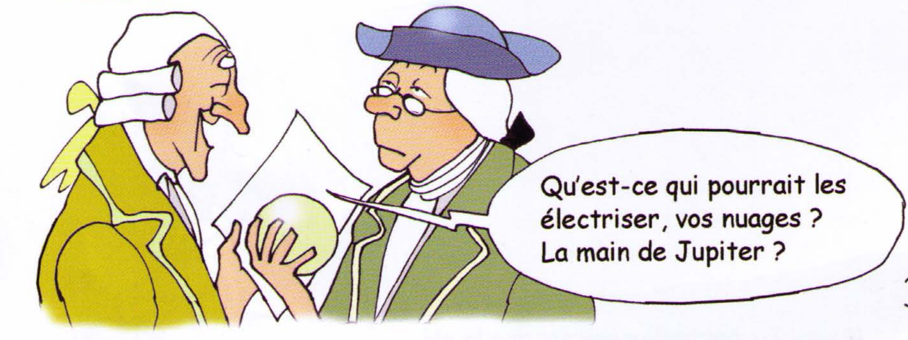
(*) Les condensateurs sont les pires systèmes de stockage d'énergie qu'on puisse imaginer, avec les bancs les plus puissants dont on dispose aujourd'hui, on peut à peine préparer un thé pour quatre personnes.

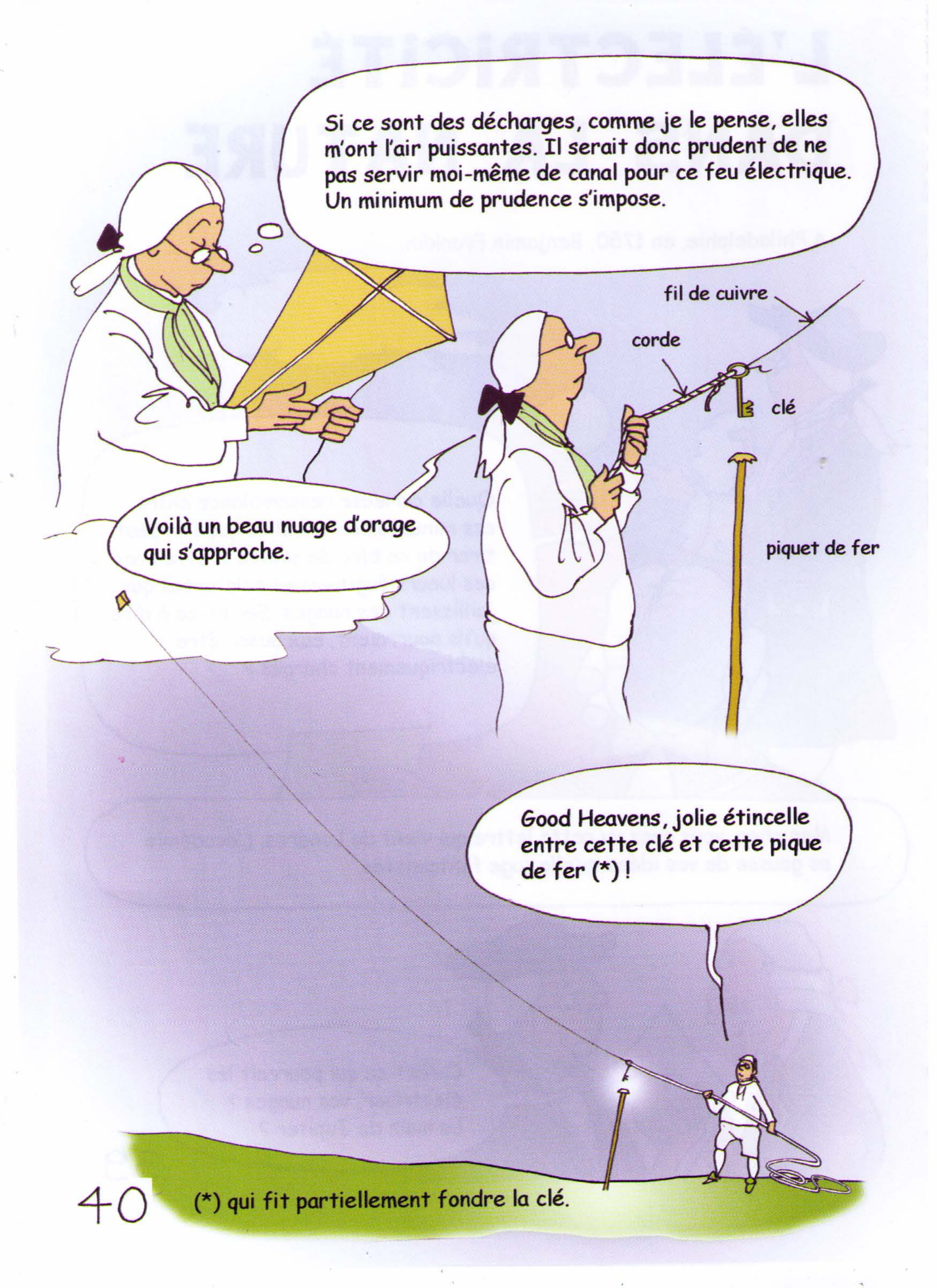
L'ÉLECTRICITÉ DANS LA NATURE

A Philadelphie, en 1750, Benjamin Franklin.

Quelle curieuse ressemblance entre ces minuscules étincelles que l'on peut tirer de ce bloc de soufre frotté avec ces lueurs fugitives et éclatantes qui jaillissent des nuages. Serait-ce à dire qu'ils pourraient, eux aussi, être électriquement chargés ?

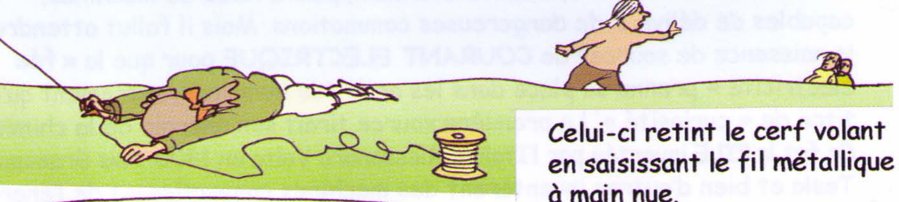
Mon cher, vous avez vu cette lettre qui vient de Londres. L'académie se gausse de vos idées qu'elle juge fantaisistes.





(*) qui fit partiellement fondre la clé.

Benjamin Franklin ayant eu raison de ses détracteurs, qui l'avaient tant moqué, la nouvelle se répandit comme la foudre. Mais tous les expérimentateurs n'eurent pas sa prudence. Ainsi, un an plus tard, Georg Willem Richman, à St. Petersburg, fut le premier homme à périr... électrocuté.



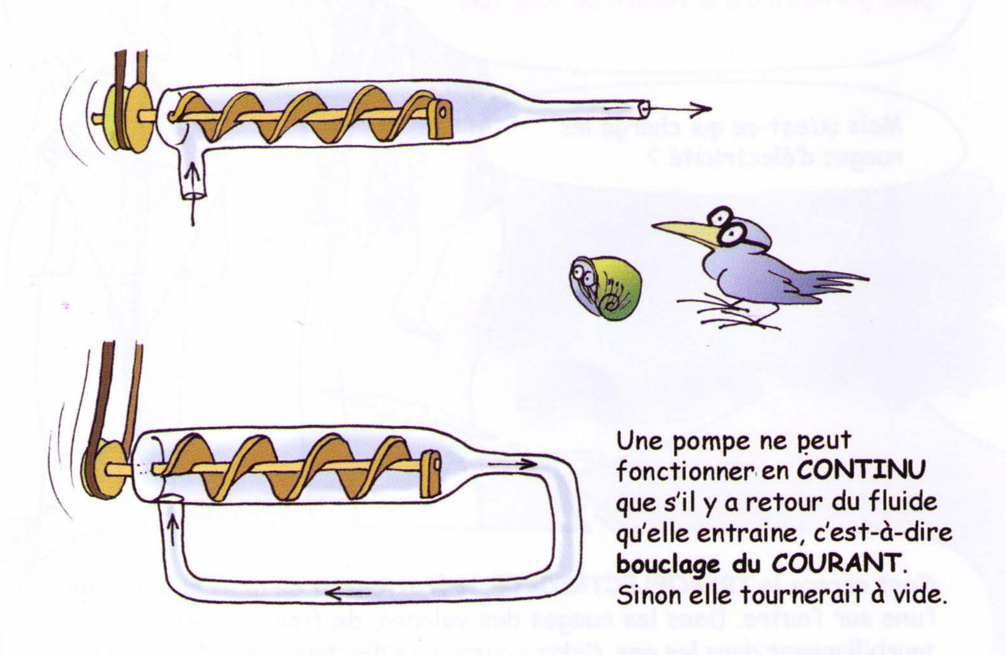
Ne vous amusez pas à envoyer un cerf volant par un temps d'orage. Une corde mouillée peut être assez conductrice pour permettre à la foudre de vous tuer

Mais qu'est-ce qui charge les nuages d'électricité ?

C'est encore la **TRIBOELECTRICITE**, le frottement de deux substances l'une sur l'autre. Dans les nuages des volcans, de fines poussières tourbillonnent dans les gaz. Cette poussière s'électrise et est parcourue par de puissants éclairs. Dans les nuages, ce sont de minuscules cristaux de glace qui, tombant dans un puissant courant ascendant, s'électrisent et chargent la masse nuageuse.

Faisons un peu le point. Tout a commencé au V° siècle avant JC quand Thalès, frottant des morceaux d'ambre, attirait des petits objets. Treize siècles plus tard, quand l'intérêt pour les sciences s'éveillait en Europe, les hommes se mirent à frotter tout ce qui leur tombait sous la main : résine, verre… Ils apprirent à accumuler des charges électriques dans des condensateurs, d'abord à la main, puis à l'aide de machines, capables de délivrer de dangereuses commotions. Mais il fallut attendre la naissance de sources de **COURANT ELECTRIQUE** pour que la « fée électricité » prenne sa place dans les activités humaines, autrement qu'à titre de « curiosité ». La première source tirait son énergie de la chimie. Ce fut la **PILE** inventée par l'Italien Alessandro Volta en 1800. Puis Gramme, Tesla et bien d'autres inventèrent des machines convertissant de l'énergie mécanique en courant électrique. La description de leurs principes sort du cadre du présent ouvrage.

Aussi, pour nous, un **GENERATEUR ELECTRIQUE** se résumera-t-il à une « pompe à électrons» (*).

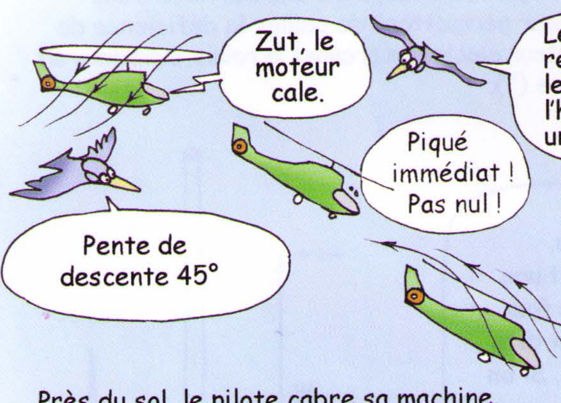


Une pompe ne peut fonctionner en **CONTINU** que s'il y a retour du fluide qu'elle entraine, c'est-à-dire **bouclage du COURANT**. Sinon elle tournerait à vide.

(*) Une « pompe à électrons », en gardant en tête que du fait de l'erreur commise au XVIIIème siècle, on a donné au « courant électrique » le sens inverse de la circulation des électrons.

LE COURANT CONTINU

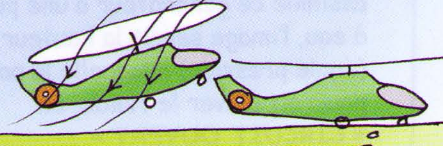
Les sources de **COURANT CONTINU** domestiques sont les **PILES** (non rechargeables) et les **ACCUMULATEURS** (rechargeables) qui équipent les automobiles et maintenant l'outillage et tous les **SANS FILS**. Dans le monde de l'automobile, des systèmes **HYBRIDES** où des accumulateurs sont rechargés en continu par des moteurs conventionnels, qui peuvent ainsi travailler au meilleur rendement et à la moindre consommation, se développent. Le franco-australien Pascal Chrétien (*) est le pionnier de l'hélicoptère hybride, ce système palliant le défaut majeur de cette machine volante : son incapacité à se poser sans dommage si une panne moteur se produit dans la **ZONE DE MORT**, rendant impossible l'atterrissage en autorotation. Un hélicoptère peut **PLANER**, à sa manière, au prix d'une délicate **TRANSITION**.



Le pilote a une seconde pour réagir, sinon le rotor ralentit, les pales décrochent et l'hélicoptère tombe comme une pierre.

Inversion du sens de passage de l'air à travers le rotor : du bas vers le haut, mise en **AUTOROTATION**.

Près du sol, le pilote cabre sa machine. Le sens de passage de l'air redevient du haut vers le bas. Cette manœuvre s'appelle le **FLARE** (*)



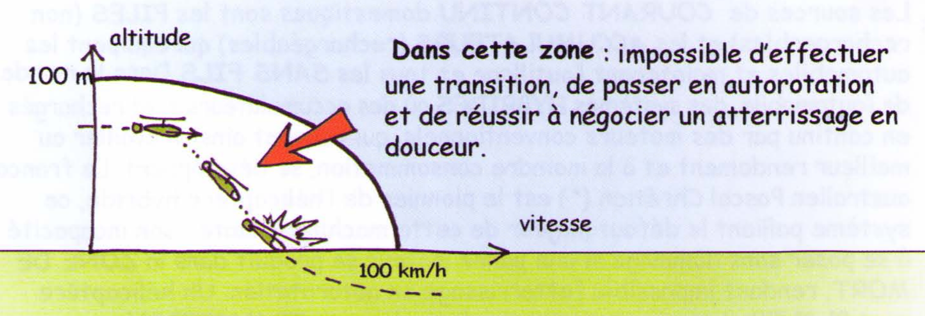
Ouf ! Manœuvre réussie. J'utilise l'énergie emmagasinée dans le rotor pour négocier un posé en douceur.

(*) Pascal Chrétien : pascal.chretien@swissmail.org

(*) La Passion Verticale : gratuitement téléchargeable à : http://www.savoir-sans-frontieres.com

Mais cette manœuvre ne peut s'effectuer que si on dispose, au ras du sol, d'une vitesse de 100km/h, ou si à vitesse zéro on est à plus de 100m d'altitude ou, dans une situation intermédiaire, sinon se trouve dans la

ZONE DE MORT :



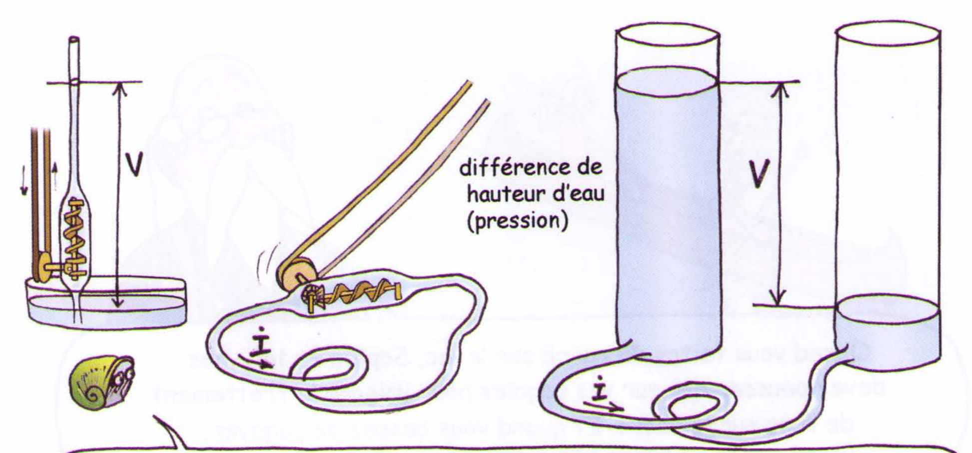
Or, la plupart du temps, les pilotes d'hélicoptère travaillent « dans la zone de mort ». Le fait de disposer en permanence, dans une batterie d'une réserve d'énergie (électrique) leur permettant de pallier la déficience de leur moteur conventionnel, un moteur électrique prenant le relais, supprimerait ce risque inhérent à l'hélicoptère (*).

Revenons au courant continu. Un générateur électrique est une pompe à électrons, capable de fournir une « pression électronique » dite **FORCE ELECTROMOTRICE**. Si on assimile ce générateur à une pompe à eau, l'image serait la hauteur (égale pression) à laquelle la pompe pourrait élever le fluide, en « **CIRCUIT OUVERT** ».

FORCE ELECTROMOTRICE

Energie mécanique

(*) Idée due à Pascal Chrétien (2002)

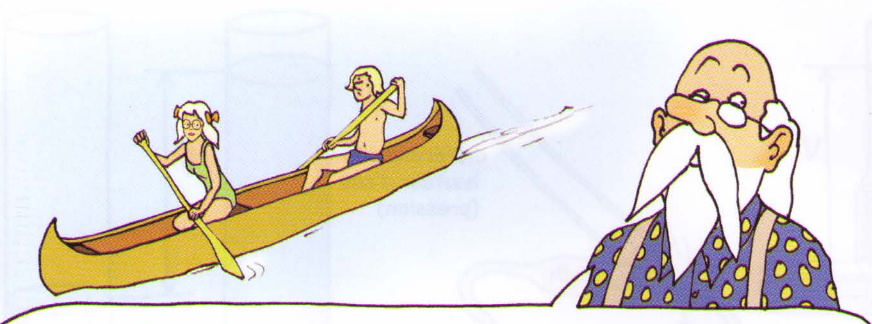


En branchant un tuyau de section **s** et de longueur **L**, données, on obtiendrait le même débit **I** (analogue de l'intensité électrique) en le connectant à une pompe (analogue du générateur électrique) ou à deux réservoirs présentant une différence de hauteur d'eau,identique au pouvoir élévateur de la pompe (analogue de la FORCE ELECTROMOTRICE)

En restant dans l'analogie hydraulique, qu'est-ce qui limite de débit d'eau **I**, dans un tuyau donné, pour une différence de hauteur d'eau **V**, également fixée (ou une pression d'admission délivrée par la pompe)

C'est le FROTTEMENT de l'eau sur la paroi du tuyau

Tu veux dire que l'eau frotte ... à l'intérieur du tuyau ?



Quand vous faites du canoë sur le lac, Sophie et toi, vous devez pousser dur sur vos pagaïes pour vaincre le frottement de l'eau sur la coque. Et quand vous cessez de pagayer, votre canoë ne tarde pas à s'arrêter, non ?

En faisant cela, on dépense de l'**ENERGIE**, on la **TRANSMET** au fluide. Et ensuite, elle va où ? Elle se transforme en quoi ?

Ben, ça fait des tourbillons. Appelons ça de l'énergie tourbillonnaire



Oui, mais ces tourbillons finissent par disparaître. En fin du compte, cette énergie devient **QUOI** ?

Elle se transforme en **CHALEUR**. En pagayant, au bout du compte, vous chauffez l'eau du lac. Pas de beaucoup, car l'eau a une grande **CAPACITE CALORIFIQUE**

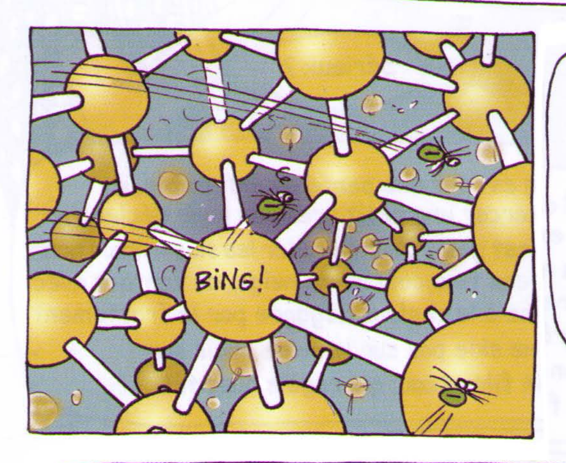



Le frottement est le phénomène à travers lequel la nature transforme de l'énergie mécanique en énergie thermique, en chaleur. C'est ce qu'on fait en frottant ses mains l'une contre l'autre pour se réchauffer
On peut même fondre de la glace en la frottant.
Sérieux ?
Quand on est sur une pente de ski, faible, et qu'on doit exercer une petit pression pour déclencher la glisse, ça n'est pas « pour décoller les skis », mais pour faire fondre une fine couche de neige, au contact avec les skis, grâce à la chaleur dégagée par le frottement
Ainsi, on ne skie pas sur la neige, mais sur un fin film d'eau, qui regèle aussitôt
Ca me donne une idée
Marie, sais-tu que quand tu tournes ta cuillère dans ta mayonnaise, tu élèves sa température ?
Oh, pas de beaucoup parce que la mayonnaise a une capacité calorifique élevée
Quel rapport entre tout cela et l'électricité ?

RESiSTANCE



Vous n'allez quand même pas me dire que les électrons qui cheminent dans un fil électrique frottent sur la gaine isolante qui l'entoure ?



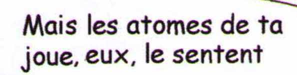
Le réseau, fixe, des atomes de métal, forme autant d'obstacles qui freinent la progression des électrons. En entrant sans cesse en collision avec ceux-ci, ces derniers leur transmettent de l'énergie



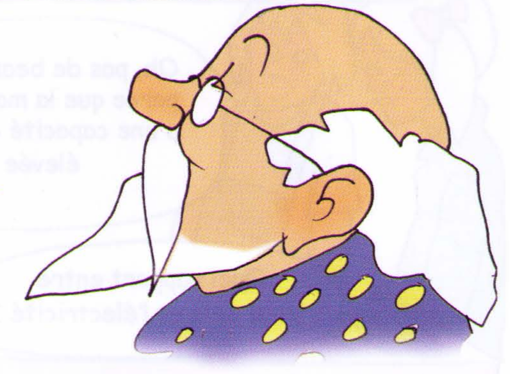
Mais comment les atomes du métal peuvent-ils acquérir de l'énergie, alors qu'ils ne peuvent pas bouger l'un par rapport à l'autre ?

C'est tout le réseau qui entre en vibration

Quand je mets un fer à repasser contre ma joue je ne sens pas du tout ses atomes vibrer



Mais les atomes de ta joue, eux, le sentent



Si on voulait créer une analogie complète entre l'électricité et l'hydraulique, il faudrait faire circuler un liquide dans un **MILIEU POREUX**, dont la **POROSITE** serait l'équivalent de la **CONDUCTIVITE** d'un matériau **CONDUCTEUR** de l'électricité (*)



La différence des pressions ($P_1 - P_2$) est l'équivalent de la différence de potentiel ($V_1 - V_2$), et le débit de ce **COURANT FLUIDE** est l'équivalent de l'intensité **I** du courant électrique

Donc, la question deviendrait : pour une différence de pression $V = P_1 - P_2$, avec un conduit de porosité, le longueur **L** et de section **s** données, quel serait le débit **I** ?



1) plus grande est la porosité, ou conductivité σ plus important est le débit
2) Plus long est le tuyau, plus le liquide a du mal à passer
3) Plus faible est la section : même chose

Que diriez-vous d'une loi comme :

$$\text{Débit } I = \frac{\text{différence de pression } (P_1 - P_2)}{\text{résistivité } \rho \times \text{longueur } L \,/\, \text{section } s}$$

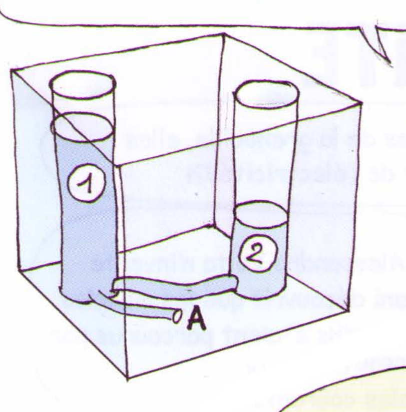
Elle est très sympa, cette loi.
Et qu'est-ce que ça donne, en transposant à l'électricité ?



(*) la **RESISTIVITE** ρ est l'inverse de la **CONDUCTIVITE** σ


En électricité, la formule est équivalente en tous points :
I(intensité électrique) = (V1-V2), différence de potentiel / RESISTANCE (ρ L/s)
+
+
R
Autrement dit, la résistance à l'avancement d'un fluide dans un tuyau se calcule avec une formule semblable en tous points à celle qui permet de calculer la résistance électrique d'un fil
Attendez. Il y a une chose que je ne comprends pas avec cette analogie hydraulique. Pour faire s'écouler un liquide dans un tuyau, ou un conduit poreux, je n'ai nul besoin de disposer de deux réservoirs de niveaux différents
Alors que si on met un des deux fils « en l'air », le courant ne passe plus

Tu oublies une chose : l'air n'est pas un **CONDUCTEUR**, mais un **ISOLANT**. Si tu voulais compléter ton analogie, il te faudrait noyer le montage dans une matière plastique, du plexiglas



Le liquide contenu dans le récipient 1 ne peut s'écouler par l'orifice **A**

RESiSTANCE iNTERNE

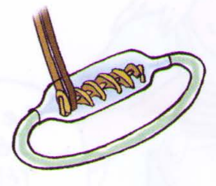
Si je mets les lames de cette pile en **COURT-CIRCUIT**, il devrait y avoir un courant extrêmement intense, et elle devrait se décharger instantanément, non ?

Non, parce que tout générateur électrique, quel qu'il soit, possède une **RESISTANCE INTERNE**, non nulle, qui impose une limite maximale au courant qu'il peut débiter

RESITANCE INTERNE



RESISTANCE EXTERNE



Générateur mis en court-circuit, sur sa résistance interne

LES DANGERS DE L'ELECTRiCiTE

1780

Mamma mia ! Le couisssses de la grenouille, elles bougent, sous l'effet de l'électricité !?!

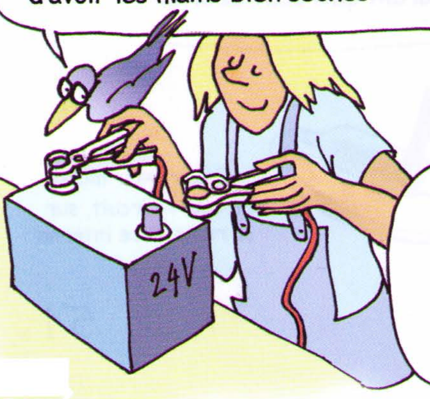
Eh oui. Avant qu'Alessandro Volta n'invente la **PILE**, Luigi Galvani découvrit que les muscles se contractaient lorsqu'ils étaient parcourus par de faibles courants



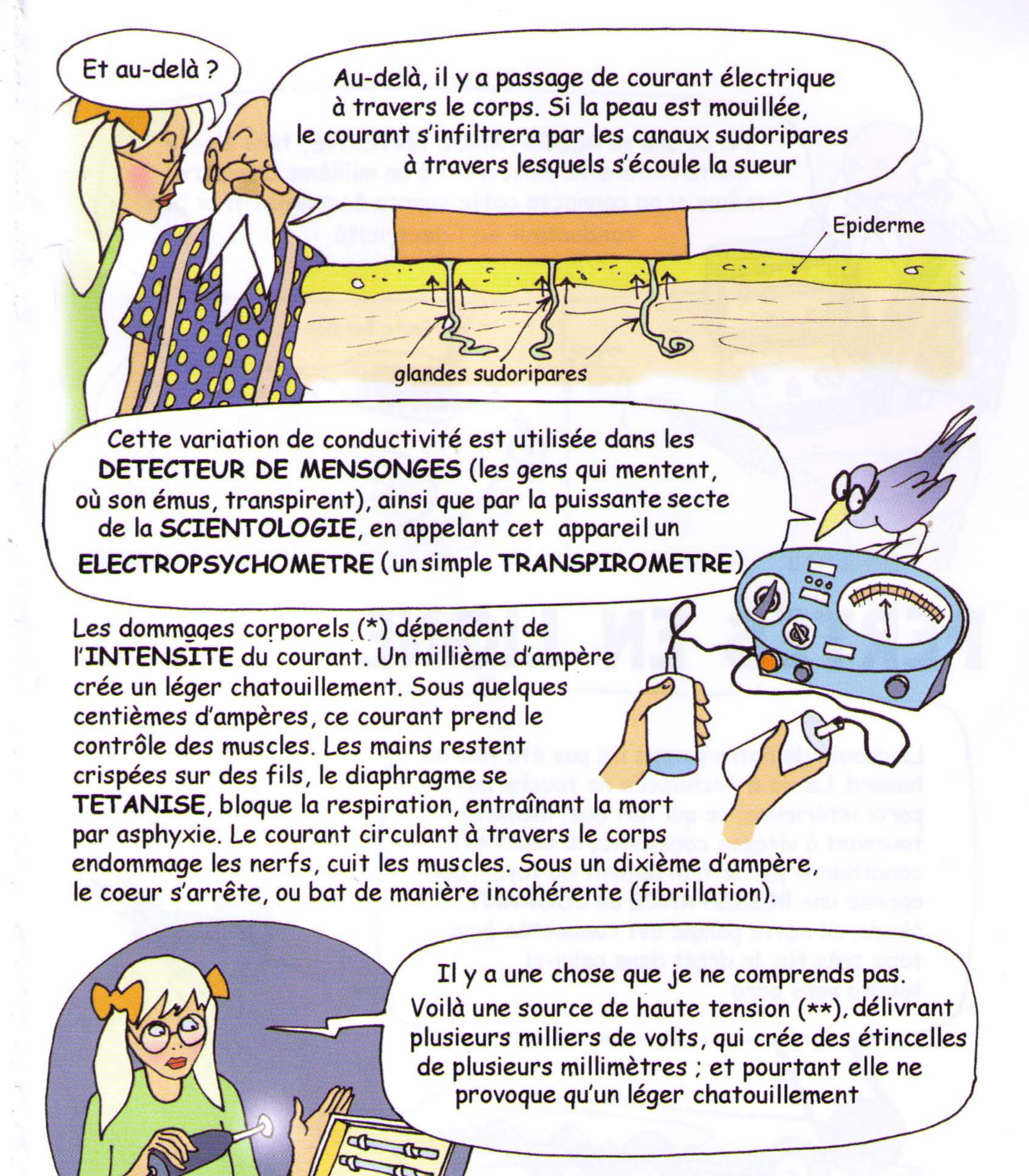
?!?

Ce qui était valable pour les grenouilles l'était aussi pour les êtres humains, et les escargots

Si on touche une source de courant qui délivre une tension inférieure à 50 volts, elle ne présente aucun danger, à condition d'avoir les mains bien sèches



Le corps humain contient nombre d'éléments qui conduisent bien l'électricité : les nerfs, les vaisseaux sanguins, les muscles, les viscères. En dessous de 50 volts, la peau se comporte comme un isolant



Les dommages corporels (*) dépendent de l'**INTENSITE** du courant. Un millième d'ampère crée un léger chatouillement. Sous quelques centièmes d'ampères, ce courant prend le contrôle des muscles. Les mains restent crispées sur des fils, le diaphragme se **TETANISE**, bloque la respiration, entraînant la mort par asphyxie. Le courant circulant à travers le corps endommage les nerfs, cuit les muscles. Sous un dixième d'ampère, le coeur s'arrête, ou bat de manière incohérente (fibrillation).

(*) 200 personnes meurent chaque année, en France, par électrocution

(**) Une "bobine de Ruhmkorff ".

Parce que sa **RESISTANCE INTERNE**, très élevée, limite l'intensité du courant à un millième d'ampère, même si on connecte cette source à un objet très bon conducteur de l'électricité

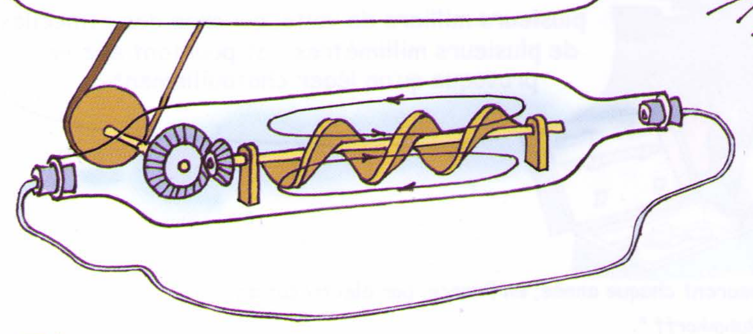
Haute tension

Résistance interne

Résistance externe

PERTES EN LiGNE

Le dessin de notre pompe n'a pas été fait au hasard. La vis d'Archimède ne touche pas la paroi intérieure, ce qui fait que, même en tournant à vitesse constante, le débit est conditionné par le frottement du tuyau, qui oppose une **RESISTANCE** au **COURANT** fluide. Si cette pompe est connectée à un tube très fin, le débit dans celui-ci tendra vers zéro

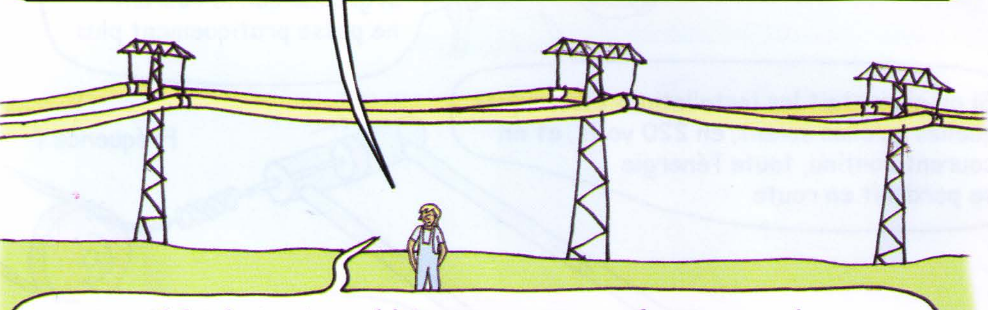


MOTEUR

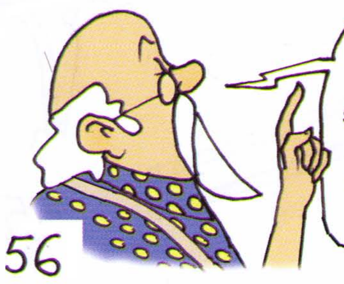
Pourquoi faire simple, quand on peut faire compliqué ?

Cet échappement permet de transformer un mouvement linéaire, alternatif, en mouvement de rotation continu (on l'utilisait dans les vieilles horloges à balancier)

Je croyais que le **COURANT ALTERNATIF** permettait de **TRANSPORTER L'ENERGIE A DISTANCE**, plus facilement. Mais, même comme cela, tout se perd encore en route, du fait des frottements, et au bout du compte je chauffe les petits oiseaux.

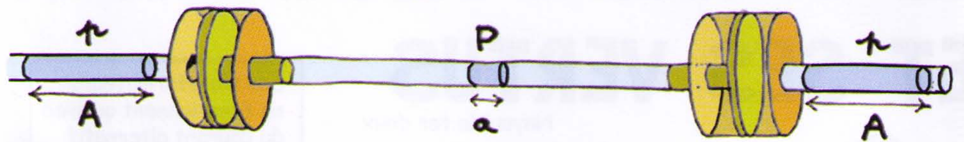


Ce qu'il faudrait, c'est réduire ces pertes par frottement, donc l'amplitude de ce mouvement de va-et-vient de mon fluide, c'est à dire, à fréquence constante, le débit, c'est-à-dire l'**INTENSITE**. Mais alors si on réduit cette intensité-débit, que devient la **PUISSANCE** ?



Tu oublies une chose, Anselme. La pression n'est pas seulement une force par unité de surface. C'est aussi **UNE DENSITE D'ENERGIE PAR UNITE DE VOLUME**. Si tu diminues le débit volumique **I**, en accroissant la pression, tu pourras conserver le débit d'énergie

La solution, c'est le **VERIN**, qui transforme un déplacement de grande ampleur A, sous faible pression p, en faible déplacement a, sous haute pression P.



Cette formation ne modifie pas la quantité d'énergie **p A = P a**, transportée à la fréquence f. Mais comme à chaque cycle le déplacement a du fluide est réduit, il en est de même pour les pertes par frottement.

Apport d'énergie

conversion sous haute pression

Transport de l'énergie sous haute pression

Reconversion en basse pression

Utilisateur

Dans le monde de l'électricité, le transport d'une masse fluide incompressible, sera remplacé par un transport de charges électriques. Dans un conducteur parcouru par un **COURANT ALTERNATIF**, les charges électriques sont animées d'un mouvement de flux et de reflux. Le mot **INTENSITE** remplace le mot débit et le mot **TENSION** celui de pression. Un **TRANSFORMATEUR** convertit le courant de telle manière que le produit **V x I** soit conservé. Le principe de fonctionnement, faisant appel à l'**ELECTROMAGNETISME**, sort du cadre du présent ouvrage

La Direction

LE COURANT ALTERNATIF ET SES VERTUS

Les transformateurs ne fonctionnent qu'avec du courant alternatif

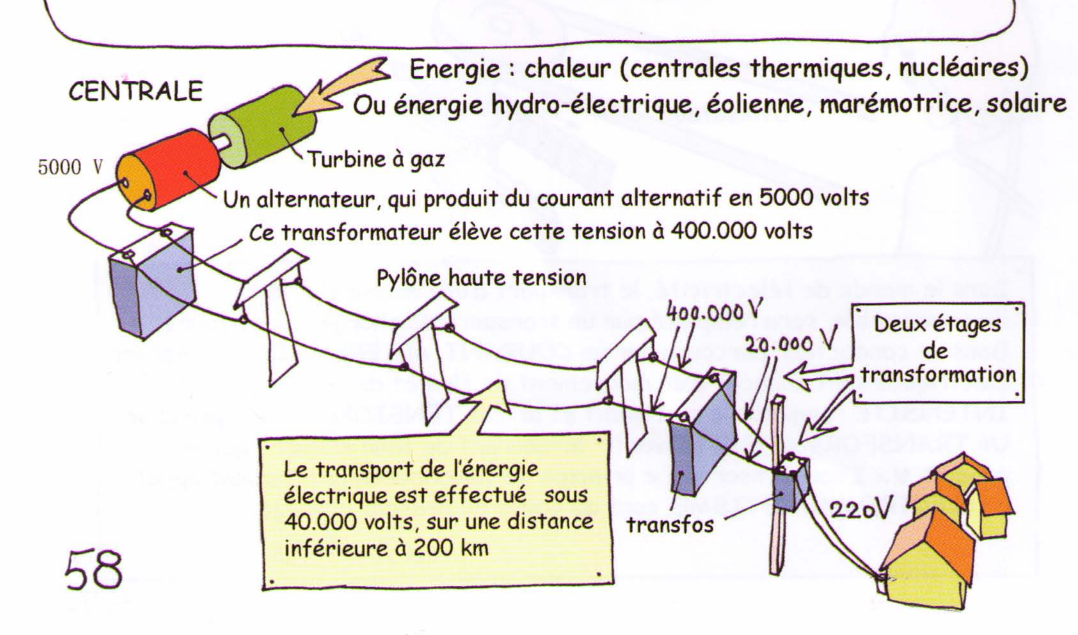
Noyau de fer doux

Basse tension : 220 V
Forte intensité

Haute tension : 400.000 V
Faible intensité

Voilà à quoi ressemble un **TRANSFORMATEUR**. On a deux circuits, couplés par un **CHAMP MAGNETIQUE ALTERNATIF**, qui se boucle dans un **NOYAU DE FER DOUX**. Si la source de puissance (circuit dit PRIMAIRE) est à gauche, et la sortie à droite (circuit dit **SECONDAIRE**), le système fonctionne en **ELEVATEUR DE TENSION**, avec $V_1 I_1 = V_2 I_2$
Si au contraire la source est à droite, et la sortie à gauche, il **ABAISSE LA TENSION**. Ceci permet de transporter la puissance électrique sous forme d'un courant alternatif en 50 périodes (*) sous une haute tension (400.000 V) et une intensité de quelques centaines d'ampères par ligne, sur des distances n'excédant pas 200 km, le **RESEAU** étant maillé partout par un ensemble de

CENTRALES ELECTRIQUES



Les lignes en 400.000 volts desservent des zones-régions. Puis des lignes en 20.000 volts alimentent les petites villes ou les arrondissements des grandes villes. Enfin, un dernier étage de transformateurs (gros comme des machines à laver, accrochés à des poteaux de béton) alimentent une douzaine de maison, ou l'équivalent

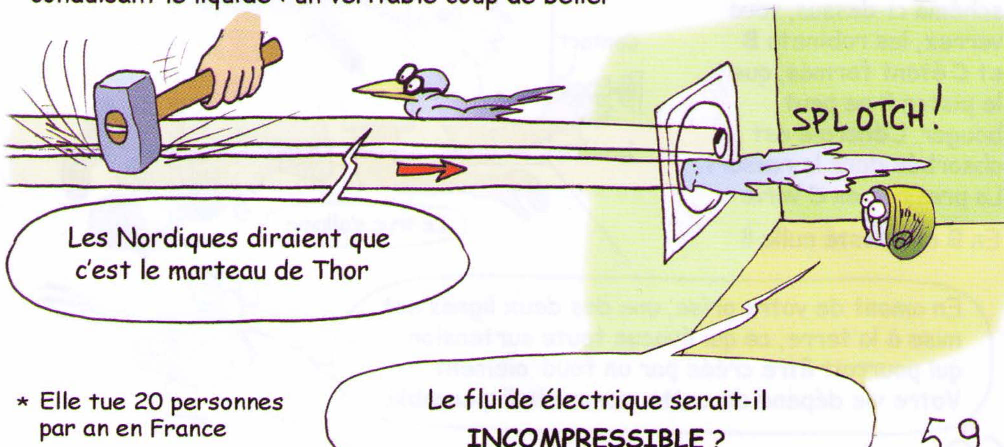
Tout cela a l'air simple comme bonjour.
Il suffit de faire arriver deux fils par une simple prise de courant, qui travaillent en opposition. Quand l'un est porté à une tension positive, l'autre est sous une tension opposée, et ainsi de suite, 50 fois par seconde

V (tension)
A
B
0
t

A B

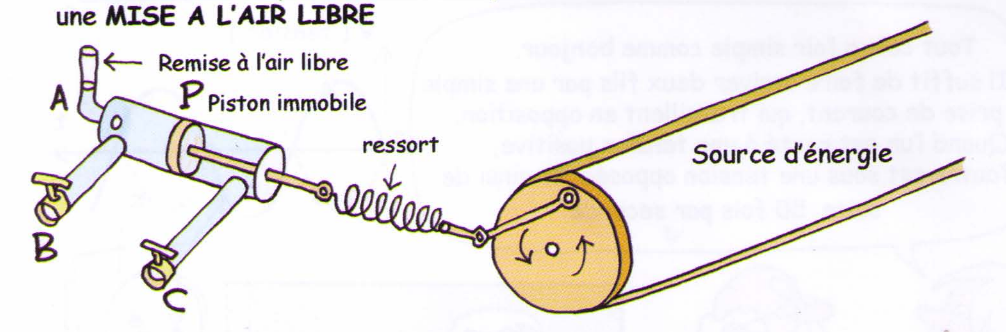
pas si simple. Qu'est-ce que tu fais si la foudre tombe sur une partie quelconque de cette ligne ?

La **FOUDRE** est un phénomène à prendre très au sérieux.(*) Ca n'est pas une simple expérience de laboratoire. Si on revient à l'analogie hydraulique, c'est équivalent à un formidable coup de marteau, asséné sur l'un des tuyaux conduisant le liquide : un véritable coup de bélier



* Elle tue 20 personnes par an en France

En électricité, ce qu'on appelle la **TERRE** est une immense capacité où peuvent se déverser des charges électriques, ou en prélever, sans parvenir à modifier sa **TENSION**, à laquelle on attribue arbitrairement la valeur zéro.
En hydraulique, l'équivalent est un immense volume, dont on ne peut modifier la **PRESSION**. On prendra ... l'atmosphère. Une mise à la terre deviendra donc une **MISE A L'AIR LIBRE**



Voici l'explication d'un mystère que très peu de gens comprennent. Votre prise de courant est alimentée en courant alternatif. Quand elle n'est connectée à aucun appareil électrique, ou radiateur, vous poourrez utiliser un **TOURNEVIS TESTEUR**. Vous découvririez alors qu'une seule des deux prises, la **PHASE**, est sous tension. L'autre, le **NEUTRE**, ne l'est pas.

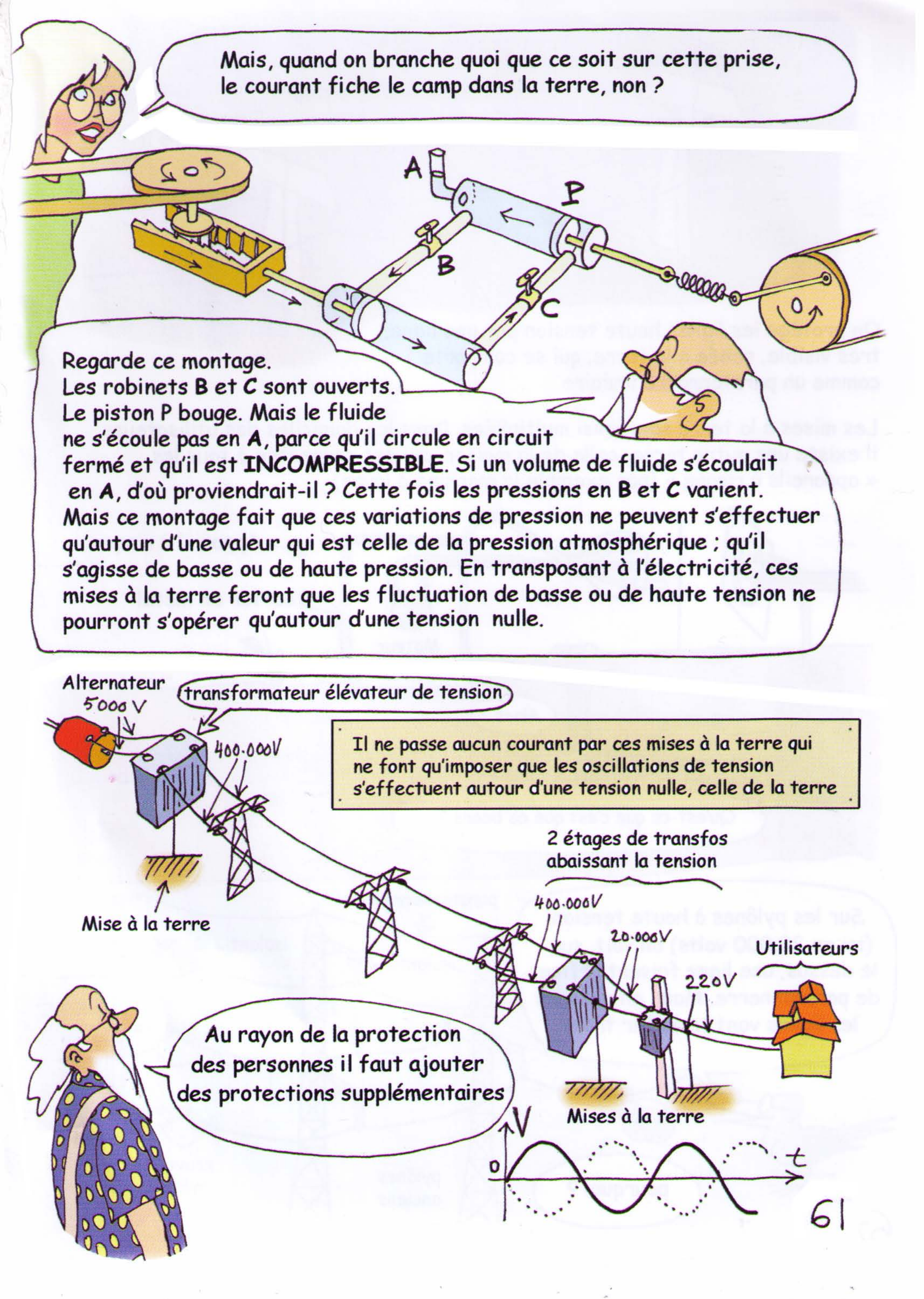
gaine isolante
résistance (importante)
Tige du tournevis
Contact
Petite ampoule emplie de néon

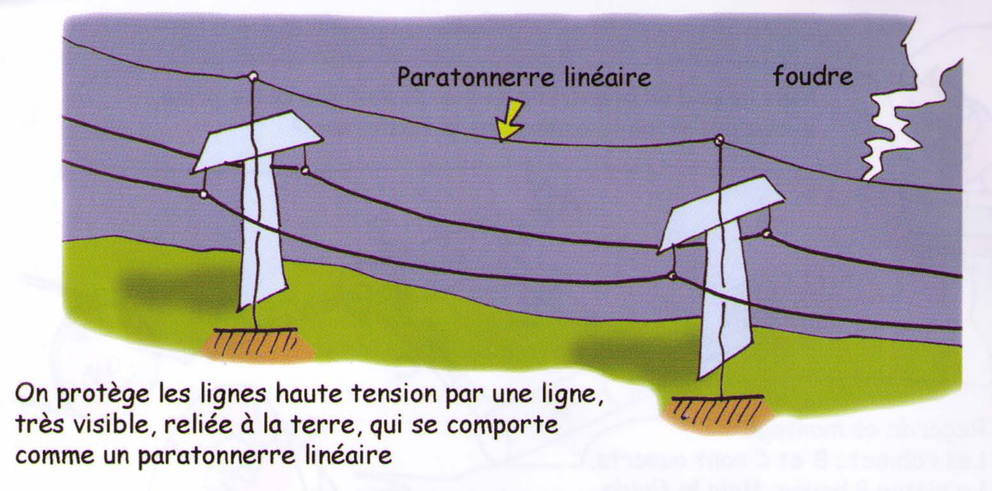
Si vous regardez le schéma ci-dessus, vous verrez, les robinets **B** et **C** étant fermés, que le piston **P** ne peut bouger. L'énergie est absorbée dans le ressort. La pression en **C** varie

En **B** elle reste nulle !!

Contact
lumière
Alors ?
Le truc s'allume

En amont de votre prise, une des deux lignes est mise à la terre, ce qui évacue toute surtension, qui pourrait être créée par un foudroiement. Votre vie dépend de cette mesure indispensable


Mais, quand on branche quoi que ce soit sur cette prise, le courant fiche le camp dans la terre, non ?
A
P
B
C
Regarde ce montage.
Les robinets B et C sont ouverts.
Le piston P bouge. Mais le fluide ne s'écoule pas en A, parce qu'il circule en circuit fermé et qu'il est INCOMPRESSIBLE. Si un volume de fluide s'écoulait en A, d'où proviendrait-il ? Cette fois les pressions en B et C varient. Mais ce montage fait que ces variations de pression ne peuvent s'effectuer qu'autour d'une valeur qui est celle de la pression atmosphérique ; qu'il s'agisse de basse ou de haute pression. En transposant à l'électricité, ces mises à la terre feront que les fluctuation de basse ou de haute tension ne pourront s'opérer qu'autour d'une tension nulle.
Alternateur
5000 V
transformateur élévateur de tension
400.000V
Il ne passe aucun courant par ces mises à la terre qui ne font qu'imposer que les oscillations de tension s'effectuent autour d'une tension nulle, celle de la terre
Mise à la terre
2 étages de transfos abaissant la tension
400.000V
20.000V
220V
Utilisateurs
Mises à la terre
Au rayon de la protection des personnes il faut ajouter des protections supplémentaires
V
0
t



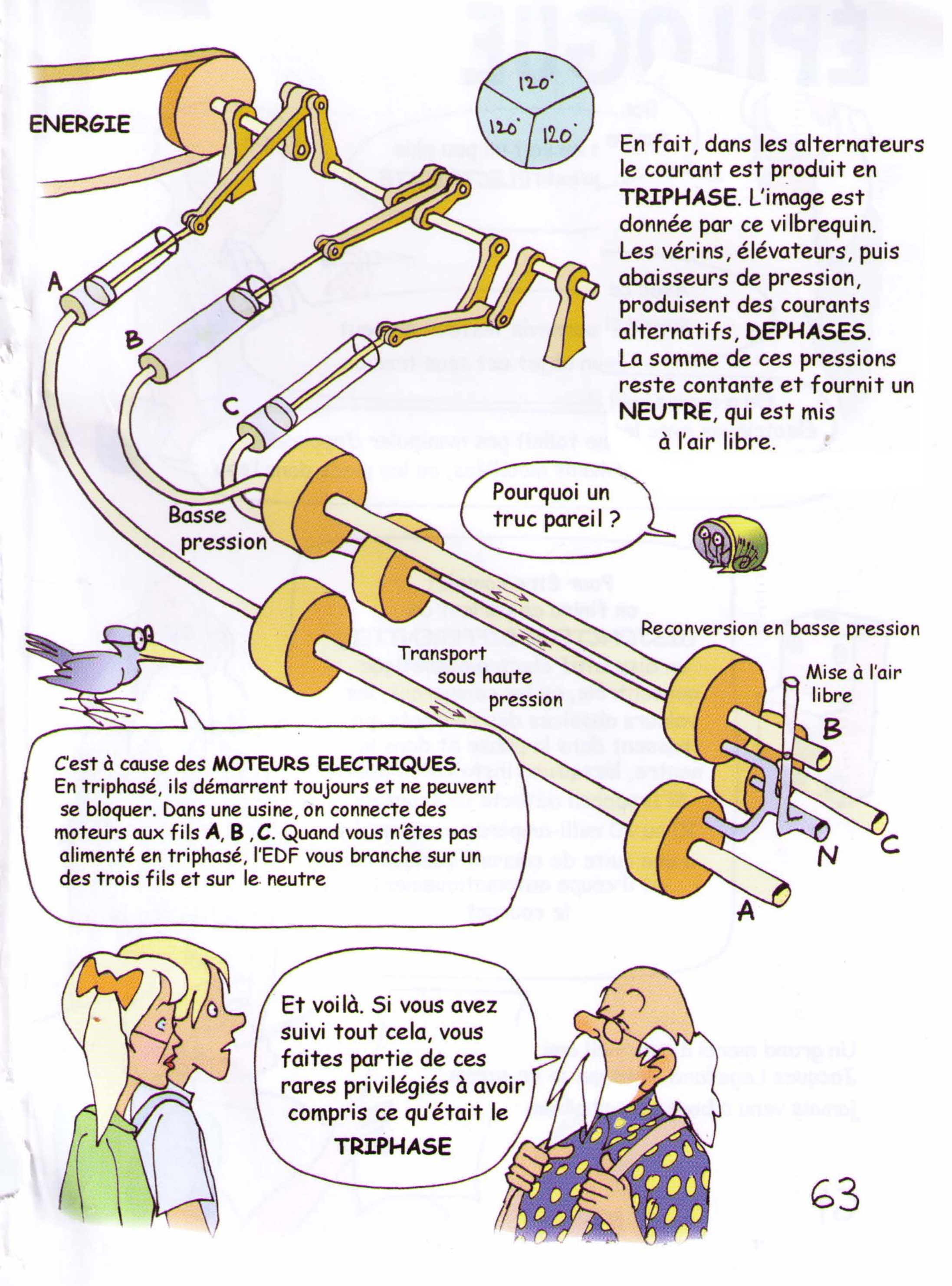
On protège les lignes haute tension par une ligne, très visible, reliée à la terre, qui se comporte comme un paratonnerre linéaire

Les mises à la terre sont ainsi multipliées. Dans les domiciles des utilisateurs il existe une autre terre, celle de la maison, qui est connectée à tous les « appareils à risque » (par exemple la machine à laver)

Appareil à risque
carter en métal
Moteur
Grillage enterré
Alors ?
Qu'est-ce que c'est que ce beans ?

Sur les pylônes à haute tension (ici en 20.000 volts) on voit, sur le dessus, une ligne faisant office de paratonnerre. Mais, en dessous les lignes vont trois par trois

paratonnerre
isolant
isolant
pylônes anciens
nouveaux pylônes
pourquoi ?


ENERGIE
120°
120°
120°
En fait, dans les alternateurs le courant est produit en **TRIPHASE**. L'image est donnée par ce vilbrequin. Les vérins, élévateurs, puis abaisseurs de pression, produisent des courants alternatifs, **DEPHASES**. La somme de ces pressions reste contante et fournit un **NEUTRE**, qui est mis à l'air libre.
A
B
C
Basse pression
Pourquoi un truc pareil ?
Reconversion en basse pression
Transport sous haute pression
Mise à l'air libre
B
C
N
A
C'est à cause des **MOTEURS ELECTRIQUES**. En triphasé, ils démarrent toujours et ne peuvent se bloquer. Dans une usine, on connecte des moteurs aux fils **A**, **B** , **C**. Quand vous n'êtes pas alimenté en triphasé, l'EDF vous branche sur un des trois fils et sur le neutre
Et voilà. Si vous avez suivi tout cela, vous faites partie de ces rares privilégiés à avoir compris ce qu'était le **TRIPHASE**

ÉPILOGUE

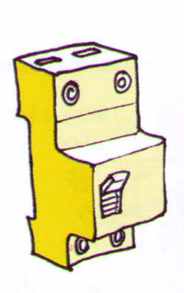


Bon, on en sait un peu plus sur ce qu'est l'**ELECTRICITE**

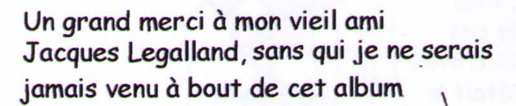


Avec ce tournevis testeur on peut savoir si un objet est sous tension

On a appris qu'il ne fallait pas manipuler d'appareils électriques avec les mains mouillées, ou les pieds dans l'eau



Pour être complet on finira en parlant du **DISJONCTEUR DIFFERENTIEL,** un dispositif électromagnétique qui contrôle, en les comparant, les valeurs absolues des courants qui passent dans la phase et dans le neutre, lorsqu'une installation débite
Si l'appareil détecte un écart de 10 ou 20 milli-ampères, c'est qu'il y a une fuite de courant quelque part et il coupe automatiquement le courant



Un grand merci à mon vieil ami Jacques Legalland, sans qui je ne serais jamais venu à bout de cet album

FIN

